

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Д.И.Менделеева

# Солнечные фотоэлектрические установки



Выполнил: студент  
I курса, группы МЭ-11  
Михалёв Алексей Сергеевич  
Проверил: преподаватель  
Ермоленко Борис Викторович

## PHOTOVOLTAIC ROOF SYSTEM

**Солнечная энергетика** — направление нетрадиционной энергетике, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечная энергетика использует неисчерпаемый источник энергии и является экологически чистой, то есть не производящей вредных отходов. Производство энергии с помощью солнечных электростанций хорошо согласовывается с концепцией распределённого производства энергии.

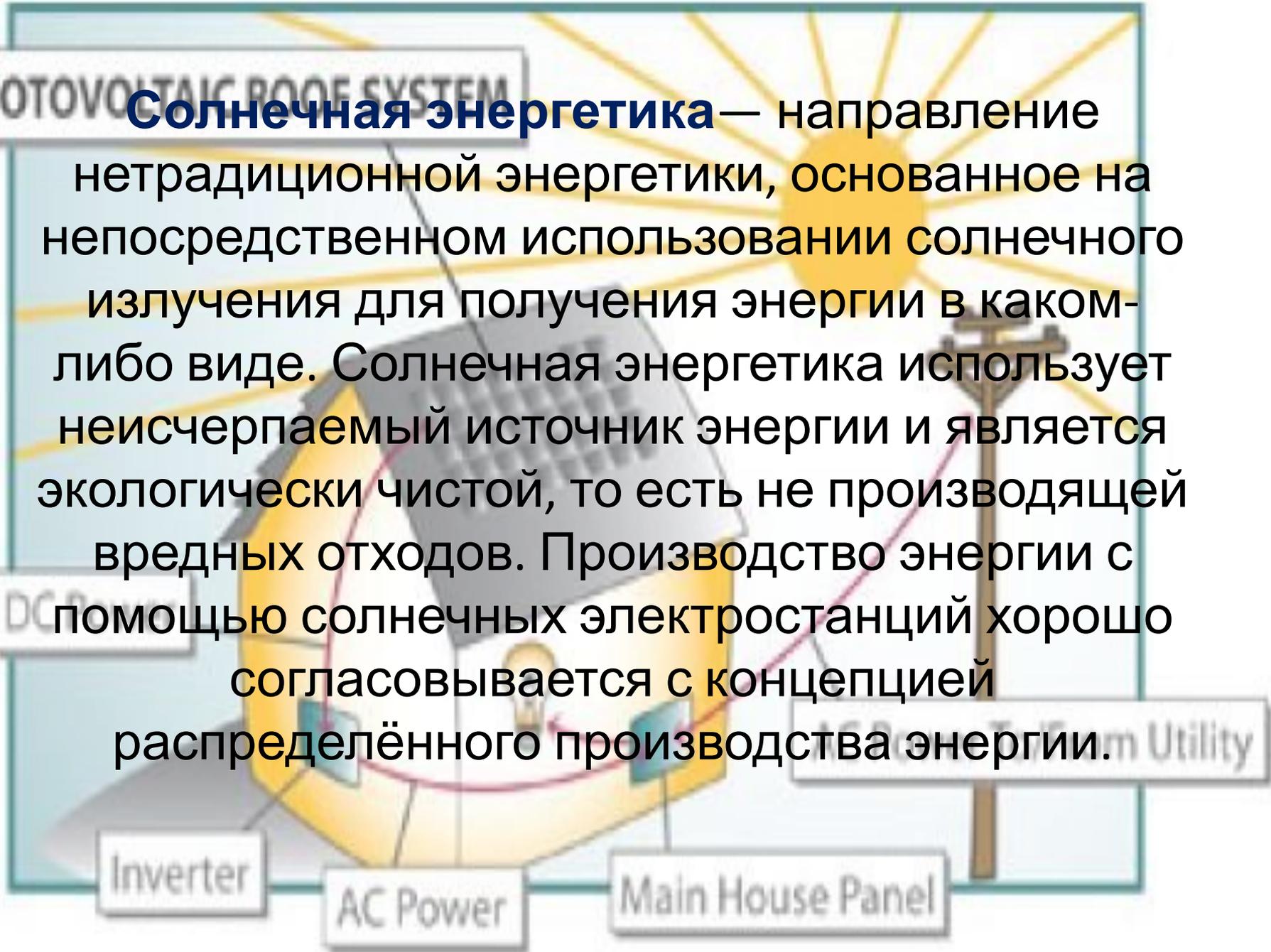
DC Power

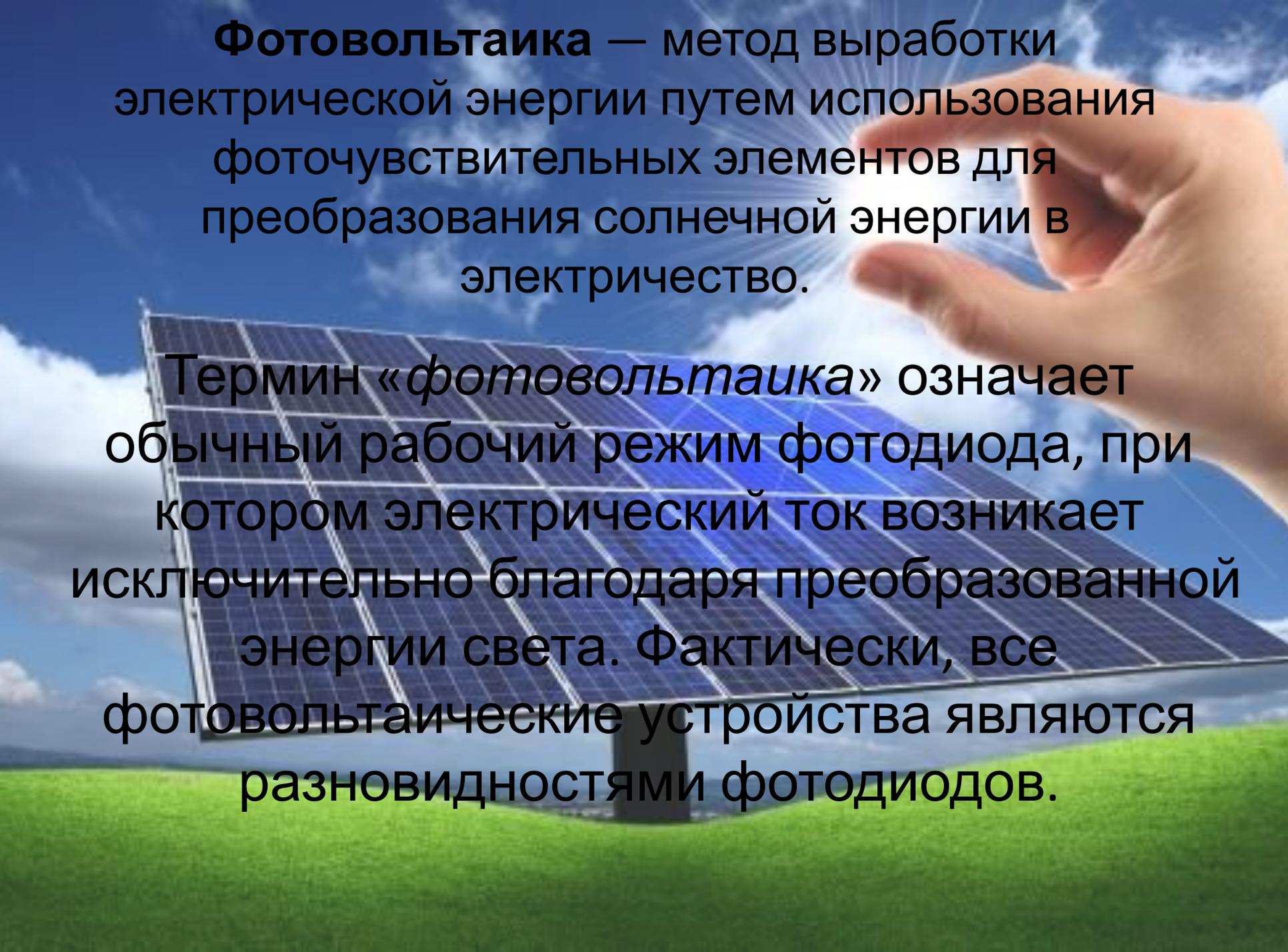
Inverter

AC Power

Main House Panel

AC Power to Utility





**Фотовольтаика** — метод выработки электрической энергии путем использования фоточувствительных элементов для преобразования солнечной энергии в электричество.

Термин «*фотовольтаика*» означает обычный рабочий режим фотодиода, при котором электрический ток возникает исключительно благодаря преобразованной энергии света. Фактически, все фотовольтаические устройства являются разновидностями фотодиодов.

# Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП)

В фотовольтаических системах преобразование солнечной энергии в электрическую осуществляется в фотоэлектрических преобразователях (ФЭП). В зависимости от материала, конструкции и способа производства принято различать три поколения ФЭП:

- ФЭП первого поколения на основе пластин кристаллического кремния;
- ФЭП второго поколения на основе тонких пленок;
- ФЭП третьего поколения на основе органических и неорганических материалов.

# НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

## Преобразование солнечной энергии в электрическую

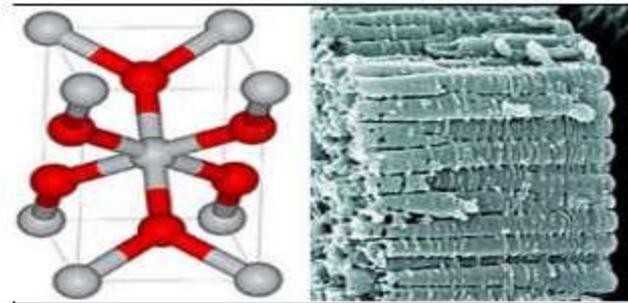
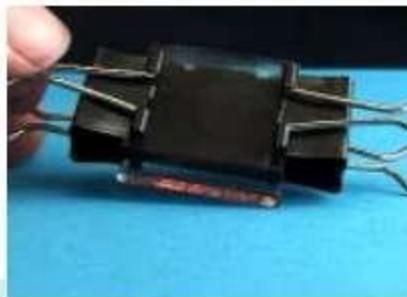
Фотоэлементы 1-го поколения на основе кристаллического кремния  
Кремниевые солнечные батареи



Фотоэлементы 2-го поколения на основе тонких пленок полупроводников



Фотоэлементы 3-го поколения  
Нанотехнологии



# ФЭП первого поколения

Первое поколение фотоэлементов это классические кремниевые элементы с традиционным p-n переходом, которые большинство из нас подразумевает под словом солнечные фотоэлементы. Как правило, это пластины из чистого монокристаллического или поликристаллического кремния толщиной 200-300 мкм. Они характеризуются высоким КПД (17-22%) и высокой себестоимостью. В настоящее время доля рынка около 82%.

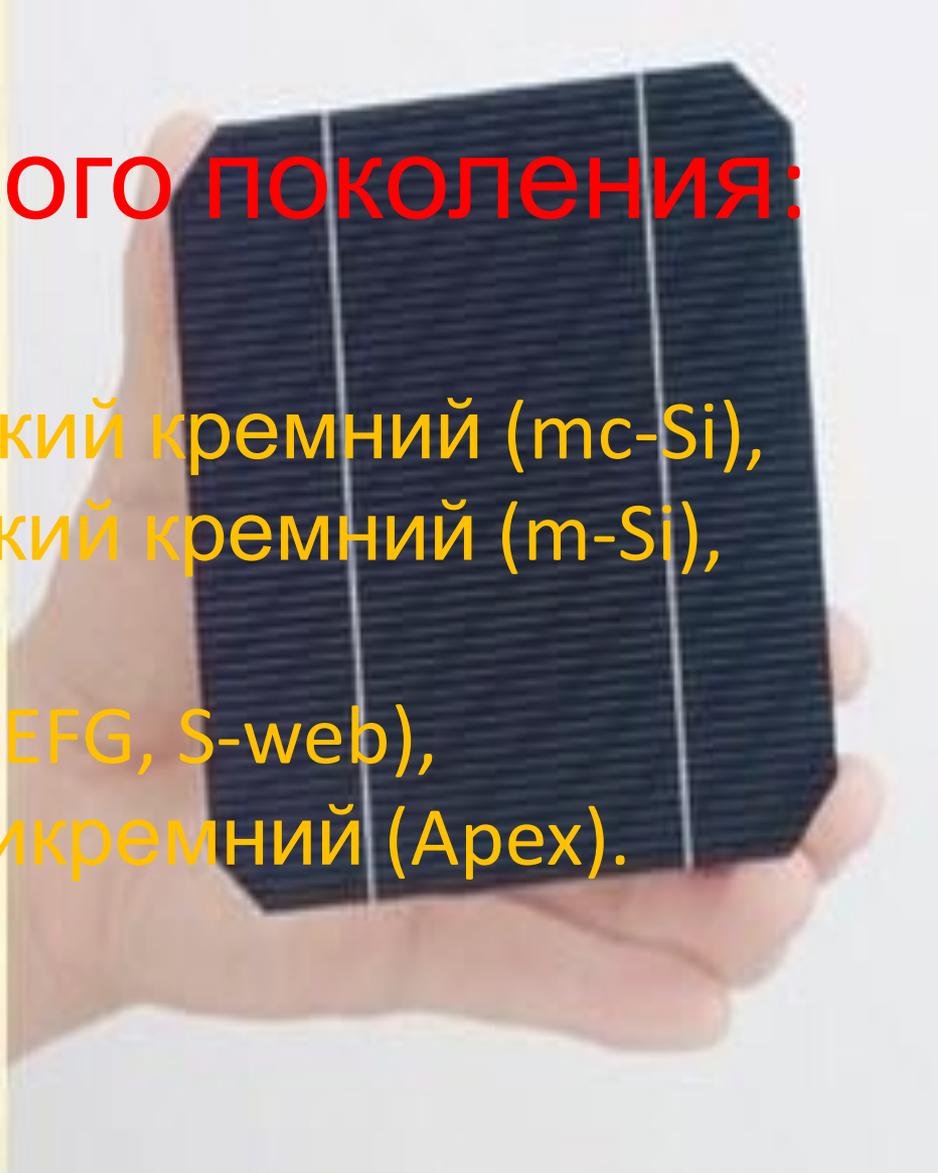
ФЭП первого поколения на основе кристаллических пластин на сегодняшний день получили наибольшее распространение. В последние два года производителям удалось сократить себестоимость производства таких ФЭП, что обеспечило укрепление их позиций на мировом рынке

# Виды ФЭП первого поколения:

- монокристаллический кремний (mc-Si),
- поликристаллический кремний (m-Si),
- на основе GaAs,
- ribbon-технологии (EFG, S-web),
- тонкослойный поликремний (Apeh).



фотоэлемент из  
поликристаллического кремния



фотоэлемент из  
монокристаллического кремния

# ФЭП второго поколения:

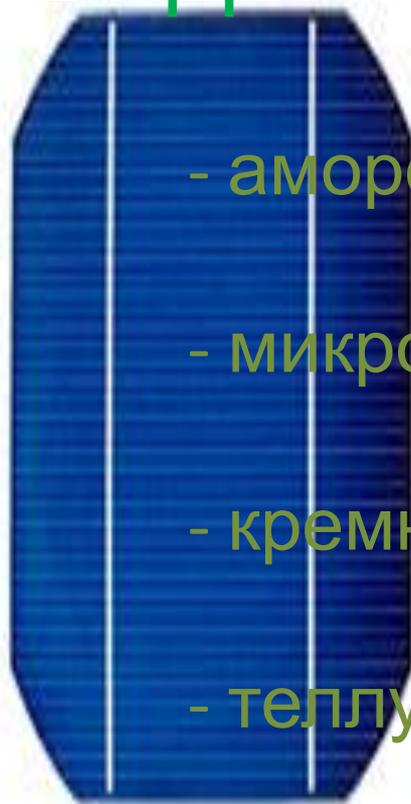
Второе поколение фотоэлементов так же основывается на использовании p-n перехода, однако не используют кристаллический кремний как основной материал. Обычно используются следующие материалы: теллурий, кадмий (CdTe), смесь меди, индия, галлия, селен (CIGS) и аморфный кремний. Как правило, толщина поглощающего свет слоя полупроводника составляет всего от 1 до 3 мкм.

# Процесс производства и

## недостатки

Технология выпуска тонкопленочных ФЭП второго поколения подразумевает нанесение слоев вакуумным методом. Вакуумная технология по сравнению с технологией производства кристаллических ФЭП является менее энергозатратной, а также характеризуется меньшим объемом капитальных вложений. Она позволяет выпускать гибкие дешевые ФЭП большой площади, однако коэффициент преобразования таких элементов ниже по сравнению с ФЭП первого поколения. Основным недостатком второго поколения элементов является меньшая эффективность, чем элементы первого поколения, которая колеблется в зависимости от технологии от 7-15%. В настоящее время доля рынка около 18%.

# Виды ФЭП второго поколения:



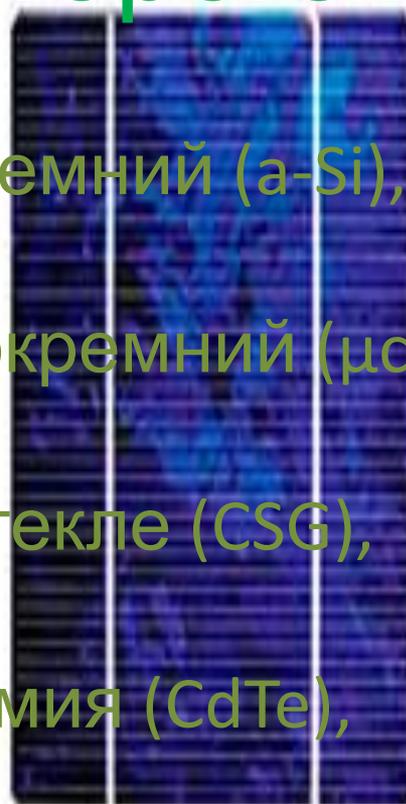
- аморфный кремний (a-Si),

- микро- и нанокремний ( $\mu\text{c-Si}/\text{nc-Si}$ ),

- кремний на стекле (CSG),

- теллурид кадмия (CdTe),

- (ди)селенид меди-(индия-)галлия (CIGS).



Монокристаллический

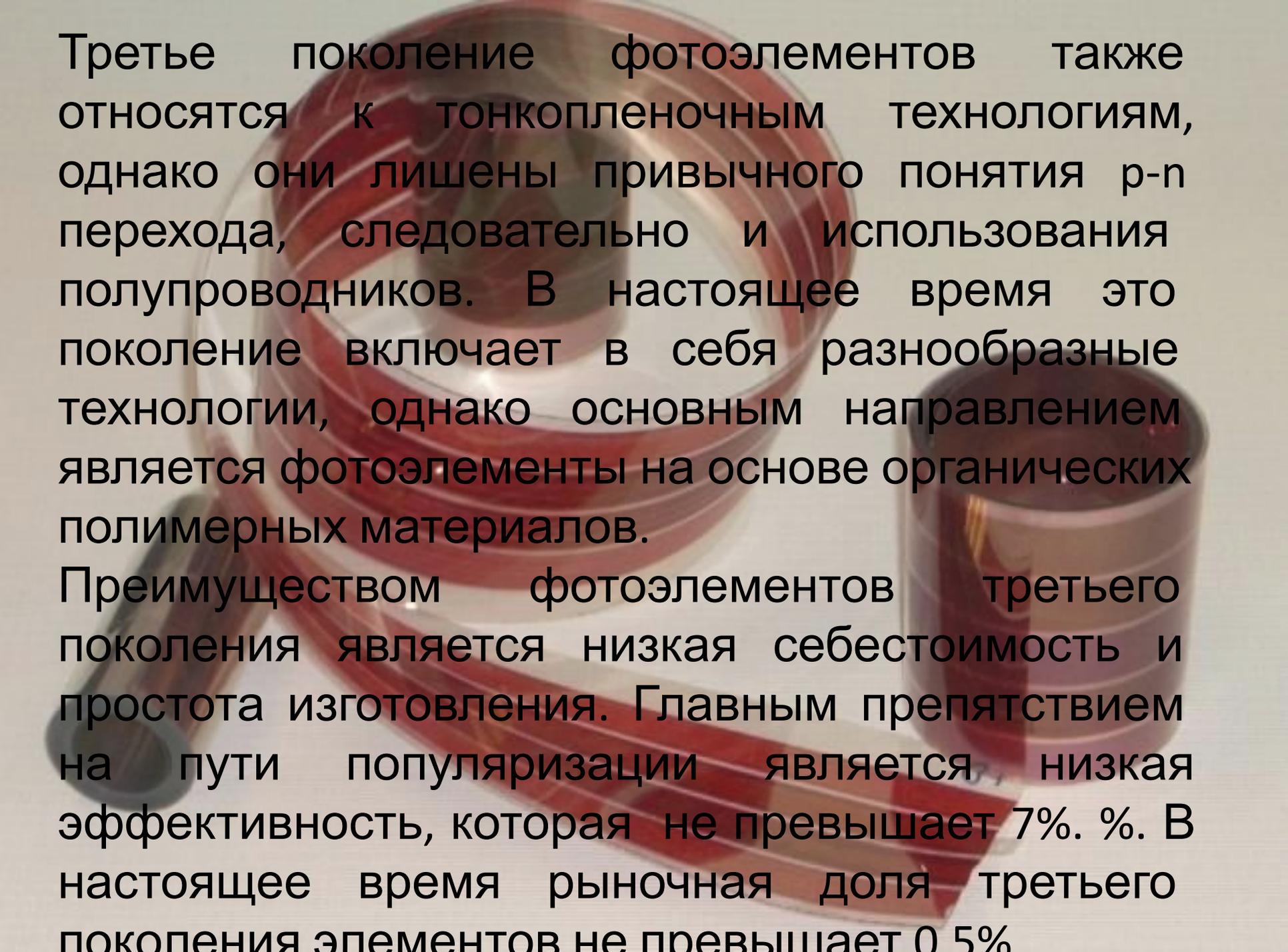
Поликристаллический

Аморфный  
(тонкопленочный)

# ФЭП третьего поколения:

Идея создания ФЭП третьего поколения заключалась в дальнейшем снижении себестоимости ФЭП, отказе от использования дорогих и токсичных материалов в пользу дешевых и перерабатываемых полимеров и электролитов. Важным отличием также является возможность нанесения слоев печатными методами.

В настоящее время основная часть проектов в области ФЭП третьего поколения находятся на стадии

The background of the slide features a close-up, slightly blurred image of optical components. On the left, a large, multi-layered red lens or filter is visible, showing concentric rings. To its right, a smaller, blue cylindrical component, possibly a lens or part of a camera assembly, is partially visible. The overall lighting is soft, highlighting the textures and colors of the components.

Третье поколение фотоэлементов также относится к тонкопленочным технологиям, однако они лишены привычного понятия р-п перехода, следовательно и использования полупроводников. В настоящее время это поколение включает в себя разнообразные технологии, однако основным направлением является фотоэлементы на основе органических полимерных материалов.

Преимуществом фотоэлементов третьего поколения является низкая себестоимость и простота изготовления. Главным препятствием на пути популяризации является низкая эффективность, которая не превышает 7%. В настоящее время рыночная доля третьего поколения элементов не превышает 0,5%

# Виды ФЭП третьего поколения:

- фотосенсибилизированные красителем (DSC),
- органические (OPV),
- неорганические (CTZSS).



# Установка и использование

ФЭП собираются в модули, которые имеют нормируемые установочные размеры, электрические параметры и показатели надежности. Для установки и передачи электроэнергии солнечные модули комплектуются инверторами тока, аккумуляторами и прочими элементами электрической и механической подсистем.

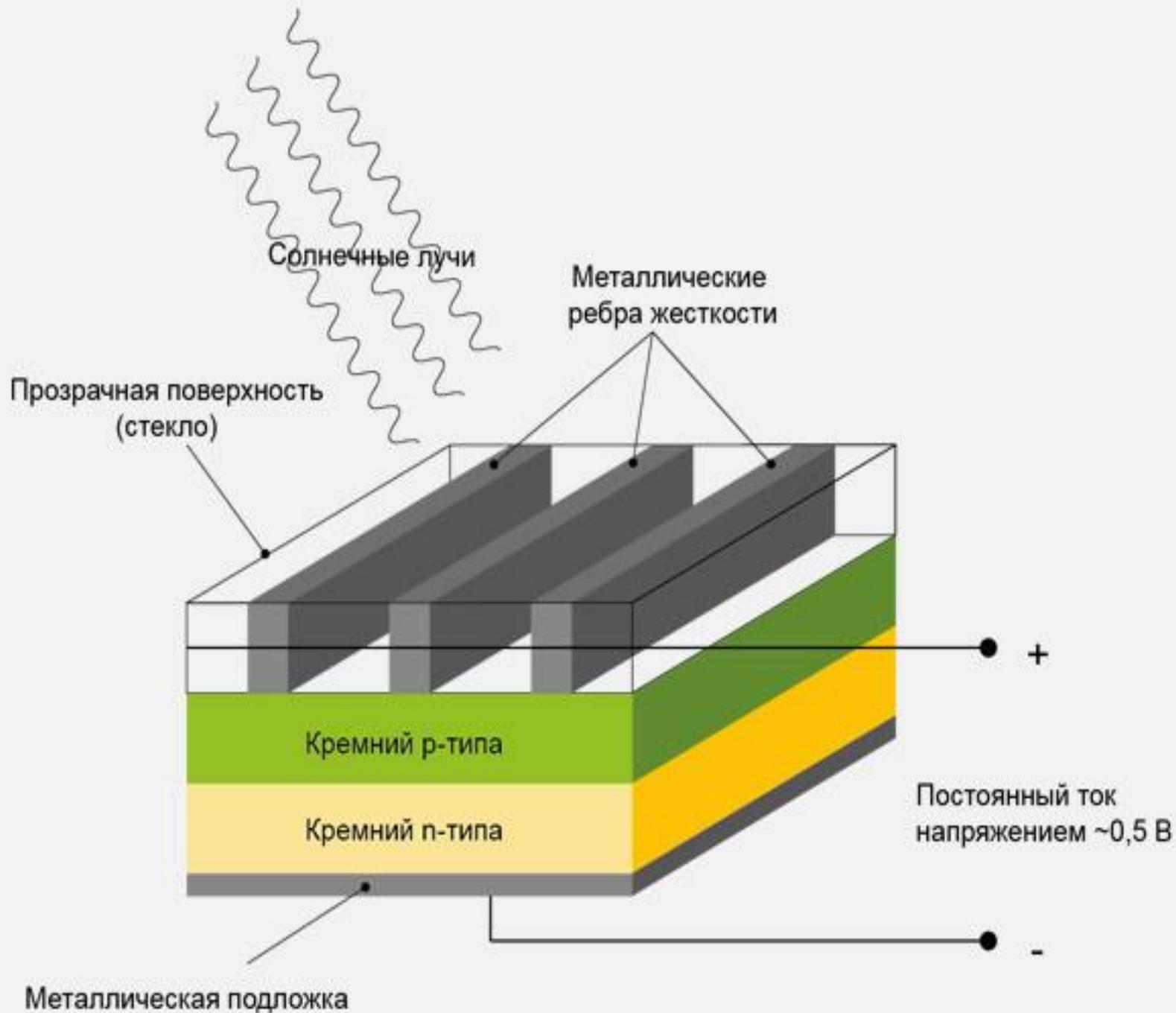
# Принцип работы солнечных батарей

Основой устройства является поверхность соприкосновения двух типов кремния, которые предусматривает конструкция фотоэлемента. Поскольку верхняя часть элемента прозрачна, солнечный свет без препятствий падает непосредственно на кремний. Положительный электрод сделан в виде ребер жесткости из металла, которые соединяют проводниками. Отрицательный электрод представляет собой металлическую подложку, которая в свою очередь находится в контакте с кремниевыми пластинами фотоэлемента.

The image features a diagram of a solar cell in the background. It shows a cross-section of the cell with layers labeled: 'Кремниевый слой P-типа' (P-type silicon layer) at the bottom, 'Инверсионный слой' (Inversion layer) in the middle, and 'Кремниевый слой N-типа' (N-type silicon layer) at the top. A sun in the top left corner emits orange rays representing light hitting the cell. A blue circuit is overlaid on the cell, showing a voltmeter (V) connected across the terminals. Arrows indicate the direction of current flow: from the top terminal, through the voltmeter, and back to the bottom terminal. The text is overlaid on this diagram.

При попадании солнечного света на поверхность фотоэлемента, между двумя типами кремния возникает разница так называемых потенциалов или электрическое напряжение. При подключении к элементу нагрузки сила тока возрастает пропорционально яркости солнечного света, вплоть до определенного критического значения. При усилении интенсивности освещения сила тока достигает максимума и выравнивается. Такой максимум называется током насыщения. Отношение вырабатываемой электроэнергии к силе света падающего на фотоэлемент называется коэффициентом преобразования или коэффициентом полезного действия (КПД).

Кремниевый слой P-типа



# Факторы, влияющие на эффективность фотоэлементов

Особенности строения фотоэлементов вызывают снижение производительности панелей с ростом температуры. Частичное затемнение панели вызывает падение выходного напряжения за счёт потерь в неосвещённом элементе, который начинает выступать в роли паразитной нагрузки. От данного недостатка можно избавиться путём установки байпаса на каждый фотоэлемент панели. Из рабочей характеристики фотоэлектрической панели видно, что для достижения наибольшей эффективности требуется правильный подбор сопротивления нагрузки. Для этого фотоэлектрические панели не подключают напрямую к нагрузке, а используют контроллер управления фотоэлектрическими системами, обеспечивающий

# Достоинства:

- общедоступность и неисчерпаемость источника;
- безопасность для окружающей среды - хотя существует вероятность того, что повсеместное внедрение солнечной энергетики может изменить альбедо (характеристику отражательной (рассеивающей) способности) земной поверхности и привести к изменению климата (однако при современном уровне потребления энергии это крайне маловероятно).

# Недостатки

- Зависимость от погоды и времени суток.
- Необходимость аккумуляции энергии.
- При промышленном производстве - необходимость дублирования солнечных ЭС маневренными ЭС сопоставимой мощности.
- Высокая стоимость конструкции, связанная с применением редких элементов (к примеру, индий и теллур).
- Необходимость периодической очистки отражающей поверхности от пыли.
- Нагрев атмосферы над электростанцией.

# Основные необратимые потери энергии в ФЭП связаны с:

- отражением солнечного излучения от поверхности преобразователя;
- прохождением части излучения через ФЭП без поглощения в нём;
- рассеянием на тепловых колебаниях решётки избыточной энергии фотонов;
- рекомбинацией образовавшихся фото-пар на поверхностях и в объёме ФЭП;
- внутренним сопротивлением преобразователя и др.

Стоит отметить, что основная тенденция развития поколений солнечных фотоэлементов заключается в снижении себестоимости энергии иногда в ущерб эффективности.

## Фотоэлементы I поколения



- переход от кристаллического кремния к аморфному и другим полупроводникам
- снижение цены
- автоматизация процесса производства

## Фотоэлементы II поколения



- отказ от стандартного p-n перехода и полупроводников
- использование новых полимерных материалов
- упрощение производства

## Фотоэлементы III поколения

## В заключении..

Некоторые перспективные материалы трудно получить в необходимых для создания СЭС количествах из-за ограниченности природных запасов исходного сырья или сложности его переработки. Отдельные методы улучшения энергетических и эксплуатационных характеристик ФЭП (за счёт создания сложных структур), плохо совместимы с возможностями организации их массового производства при низкой стоимости и т. д.

Высокая производительность может быть достигнута лишь при организации полностью автоматизированного производства ФЭП, например на основе ленточной технологии, и создании развитой сети специализированных предприятий соответствующего профиля, то есть фактически целой отрасли промышленности, соизмеримой по масштабам с современной радиоэлектронной промышленностью. Изготовление фотоэлементов и сборка солнечных батарей на автоматизированных линиях сможет