

УДК 621.311

**АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

С.С. Сенаторов, А.В. Левшов

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»

В данной работе рассмотрены виды фотоэлектрических преобразователей проанализированы некоторые особенности их применения.

Применение фотоэлектрических преобразователей для производства электроэнергии позволяет комплексно решать вопросы энергоснабжения, защиты окружающей среды, экономии ископаемых источников энергии.

По уровню поступающей на Землю возобновляемой энергии, Солнце является самым мощным из известных источников.

Преобразование энергии электромагнитного солнечного излучения в фотоэлектрических преобразователях (ФЭП) основано на фотовольтаическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Основные преимущества ФЭП:

- При работе нет выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду;
- Экономия ископаемого топлива;
- Отсутствие подвижных элементов, высокая эксплуатационная надежность установки, обеспечивают срок службы 20 и более лет;
- Пониженные эксплуатационные расходы;
- Модульный принцип системы (для увеличения мощности установки достаточно увеличить количество панелей) в соответствии с реальной потребностью пользователей.

Основные недостатки ФЭП:

- Высокая удельная стоимость конструкции;
- Производство энергии непостоянно из-за вращения Земли и погодных условий;
- Необходимость очистки поверхности фотоэлектрических преобразователей от пыли.

Фотоэлектрический элемент состоит из металлического основания, выполняющего роль положительного контакта, полупроводников р-типа и n-типа, образующих р-n-переход. На поверхности n-слоя расположена металлическая токосъемная контактная система.

На рисунке 1 изображен фотоэлектрический элемент и его энергетический баланс, показывающий значительный процент солнечного излучения, которое не преобразуется в электрическую энергию.

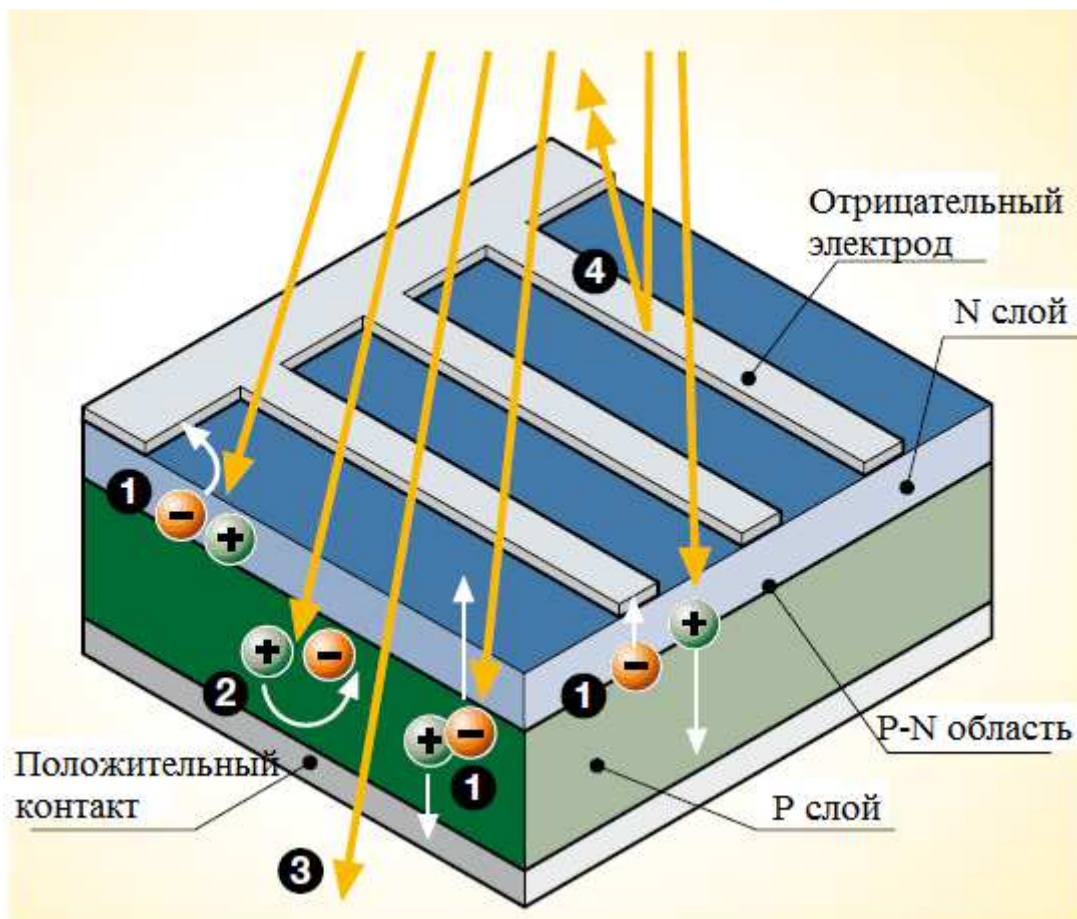


Рис.1 – Фотоэлектрический однопереходный элемент [1]

Процесс преобразования солнечного излучения в электричество, сопровождается следующими физическими процессами: 1 – разделение зарядов (возникновение избыточных электронов и дырок); 2 – рекомбинация; 3 – пропускание; 4 – отражение и затенение поверхности лицевыми контактами.

Взаимодействие фотонов с материалом фотоэлектрического элемента (ФЭ), определяется известным выражением:

$$E_{\phi} = h \cdot \nu,$$

где h – постоянная Планка ($6,63 \cdot 10^{-34}$);

ν – частота электромагнитного излучения (солнечного света).

Согласно зонной теории, если энергия поглощенных фотонов превышает ширину зоны запрещенных энергий полупроводника ($E_{\text{ф}} > E_{\text{з. зоны}}$), происходит возникновение свободных фотоэлектронов и дырок (фотовольтаический эффект). Для различных полупроводников существует граничное значение частоты $\nu_{\text{мин}}$, определяемой шириной запрещенной зоны, ниже которой разделения зарядов не происходит.

Поступающая на поверхность ФЭ солнечная энергия, расходуется следующим образом[1]:

- 3% - потери, связанные с отражением и затенением поверхности ФЭП лицевыми контактами;
- 23% - энергия, поступающая с фотонами с частотой излучения ниже, чем $\nu_{\text{мин}}$ и энергией недостаточной для освобождения электронов, выделяется в виде тепла и вызывают нагрев ФЭ;
- 74 % - энергия фотонов с частотой выше чем $\nu_{\text{мин}}$, т.е. способных вызывать фотоэффект. Эта энергия распределяется следующим образом:
 - 13% - идет на генерацию полезной электрической энергии.
 - 32% - фотоны, которые прошли сквозь элемент, но не приняли участия в разделении зарядов (пропускание);
 - 8,5% - процесс рекомбинации свободных носителей заряда;
 - 20% - расходуется на создание объемного электрического заряда в элементе, прежде всего в областях перехода;
 - 0,5% - идет на покрытие электрических потерь на последовательном сопротивлении (потери проводимости).

Для уменьшения видов потерь энергии в ФЭП разрабатываются и успешно применяется различные мероприятия. [3] К их числу относятся:

- Создание каскадных ФЭП из специально подобранных по ширине запрещенной зоны полупроводников, позволяющих преобразовать в каждом каскаде излучение, прошедшее через предыдущий каскад;
- Использование полупроводников с оптимальной для солнечного излучения шириной запрещенной зоны;
- Оптимизация конструктивных параметров ФЭП (глубины залегания p-n-перехода, толщины базового слоя, частоты контактной сетки и т.д.);

- Применение многофункциональных оптических покрытий, обеспечивающих просветление, терморегулирование и защиту ФЭП от космической радиации;
- Текстурирование поверхности для уменьшения коэффициента отражения.

Каскадные фотоэлектрические преобразователи[3]

Большинство современных солнечных элементов обладают одним р-n-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, с энергией превышающей ширину запрещенной зоны, а фотоны меньшей энергии полезно не используются. Один из путей преодоления этого ограничения – применение многослойных структур из двух и более солнечных элементов с различной шириной запрещенной зоны. Такие элементы называются многопереходными или каскадными. Каскадные элементы могут достичь большей эффективности фотоэлектрического преобразования, поскольку используют значительно большую часть солнечного спектра.

В типичном каскадном солнечном элементе (см. рис. 2) 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. Не поглощенные верхним слоем фотоны проникают в следующий элемент с меньшей шириной запрещенной зоны, где часть их поглощается и т.д.

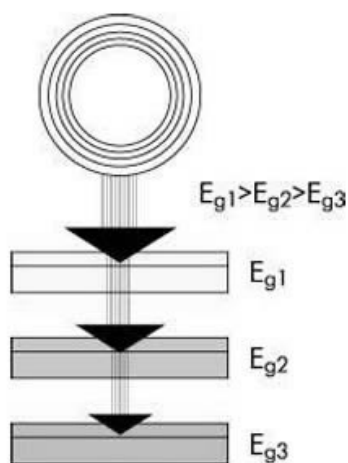


Рис.2 – Принцип построения каскадного ФЭП [4]

Перспективы повышения КПД в многокаскадных фотоэлементах иллюстрирует таблица 1. Современный опыт разработки трехкаскад-

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ,
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ**

ных фотоэлементов позволяет надеяться на практическую реализацию повышенных значений КПД в четырех-, пяти-, а может быть, и в еще более многокаскадных структурах. Нет никаких научно-теоретических сомнений, что надежды оправдаются, если будут найдены подходящие материалы для промежуточных каскадов, и эти материалы будут иметь надлежащее качество. [2]

Таблица 1 – Теоретическое, ожидаемое и достигнутые значения КПД каскадных солнечных элементов

Спектр солнечного излучения	Значение	КПД, %				
		Количество р-п-переходов в каскаде				
		1	2	3	4	5
В условиях околоземного космоса (AM0)	Теоретическое	28	33	38	42	45
	Ожидаемое	23	28	33	36	38
	Реализованное	21.8	27.2	29.3	–	–
В наземных условиях (AM1.5)	Теоретическое	30	36	42	47	49
	Ожидаемое	27	33	38	42	44
	Реализованное	25.1	30.3	31.0	–	–
В наземных условиях с концентрацией (AM1.5)	Теоретическое	35	42	48	52	54
	Ожидаемое	31	38	43	47	49
	Реализованное	27.6	31.1	34.0	–	–

Перечень ссылок

1. Technical Application Papers №10. Photovoltaic plants, 2010. -9 с.
2. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников. – 2004. – том 38. – С. 941–942.
3. Фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии [Электронный ресурс] // URL: http://www.gigavat.com/ses_preobrazovateli_1 (дата обращения: 13.05.2017).
4. Каскадные солнечные элементы [Электронный ресурс] // URL: <http://msd.com.ua/tonkoplenochnye-solnechnye-elementy-na-osnove-kremniya> (дата обращения 13.05.2017).