

# ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ

*Тошпулатова Дилдора Хайдаркуловна<sup>1</sup>, Норкулов Сайдулла Каримович<sup>2</sup>*  
*Джизакский государственный педагогический институт имени А. Кодирий*  
*Джизакский Политехнический институт*  
*e-mail: [dildora87@jspi.uz](mailto:dildora87@jspi.uz)*

**Abstract.** *The subject of the work is the influence of the technological parameters of the synthesis on the photoelectric characteristics of silicon thin-film solar cells.*

**Key words.** *Solar cells, structure, strong radiation, doped hydrogen, vibrational bonds, microcrystal, single crystal, three-junction element.*

\*\*\*

**Аннотация.** *Предметом работы является влияние технологических параметров синтеза на фотоэлектрические характеристики кремниевых тонкопленочных солнечных элементов.*

**Ключевые слова.** *Солнечные элементы, структура, сильная радиация, легированный водород, колебательных связей, микрокристалл, монокристалл, трехпереходный элемент.*

\*\*\*

**Annotatsiya.** *Quyosh batareyasi - sintezining texnologik parametrlarining kremniy yuqqa plyonkali quyosh batareyalarining fotoelektrik xususiyatlariga ta'siri.*

**Kalit so'zlari.** *Quyosh elementlari, kuchli radiatsiya, doplangan vodorod, tebranish aloqalari, mikrokrystal, monokrystal, uch tutashgan element.*

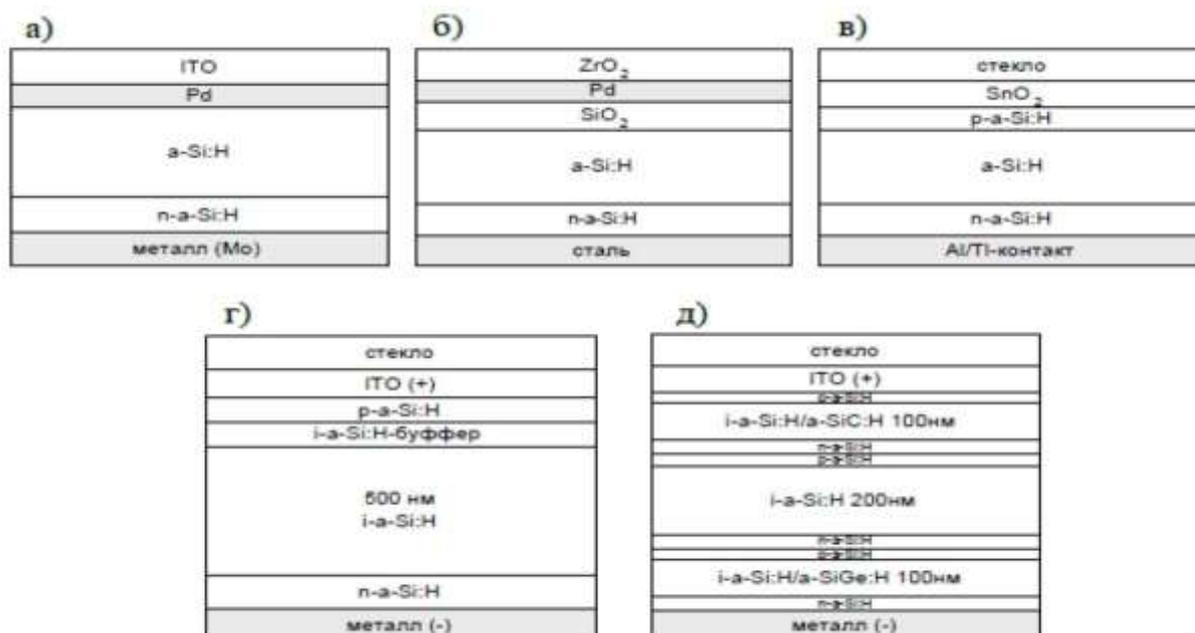
Аморфные солнечные элементы используют в качестве поглощающего слоя аморфные вещества, обладающие только ближней упорядоченностью структуры. Идеальным аморфным материалом для использования в качестве поглотителя является а-Si (аморфный кремний). Значение его запрещенной зоны может быть изменено путем введения примеси водорода (гидрогенизации). Аморфный кремний, легированный водородом (а-Si:H), является основой аморфных солнечных элементов. Иногда помимо водорода в поглощающем аморфном слое используются также добавки германия (а-SiGe:H).

В качестве рабочего перехода для а-Si солнечных элементов могут использоваться барьер Шоттки, МДП-структура, р-і-п-структура. На рис. 1 показаны различные варианты конструкции таких солнечных элементов.

Аморфные кремниевые солнечные элементы с р-і-п-структурой сейчас применяются в самых различных областях благодаря возможности их изготовления на металлической фольге, например из нержавеющей стали, и полимерных пленках, снабженных металлическим покрытием.

Использование таких подложек совместимо с технологией массового производства гибких солнечных элементов. Поэтому элементы данного типа относятся к наиболее перспективным преобразователям солнечной энергии ближайшего будущего. Основной проблемой, связанной с a-Si солнечными элементами, является их сильная радиационная деградация при облучении солнечным светом, что обусловлено эффектом Шоттки-Вронского. Данный эффект заключается в возникновении метастабильных дефектов в аморфном кремнии при воздействии на него солнечным светом, что обусловлено трансформацией электронных состояний вблизи валентной зоны и формированием соответствующих “колебательных связей (dangling bonds)”, на что аккумулируется некоторая часть энергии поглощенного света. Поэтому при рассмотрении a-Si солнечных элементов обычно оперируют не начальными, а стабилизированными характеристиками, измеряемыми после выдержки солнечного элемента под воздействием солнечного излучения в течении не менее чем  $10^3$  часов. Производство a-Si солнечных элементов находится уже на достаточно высоком технологическом уровне. В качестве основного технологического процесса используется тонкопленочная технология плазменно-поддерживаемого осаждения химических паров из кремний и германий содержащих смесей ( $\text{SiH}_4$ ,  $\text{Si}_2\text{H}_6$ ,  $\text{GeH}_4$ ).

Рисунок 1 - Солнечные элементы на основе аморфного кремния: а - барьер Шоттки; б - МДП (MUS) - структура; в - p-i-n-структура; г - p-i-n-структура с буферным слоем (однопереходный элемент); д - трехпереходный элемент (3 p-i-n-структуры с последовательным соединением) [1]



По состоянию на 2005 год годовое производство a-Si солнечных элементов и модулей составило более 19 МВт, основная часть которого приходится на фирмы USSC (США), BP Solarex (США), Cannon (США), Sanyo (Япония). При средней эффективности солнечных элементов до 13 % и модулей до 10 %. Основные характеристики некоторых солнечных элементов на основе кремния (монокристаллического c-Si, микрокристаллического mc-Si, тонкопленочного tf-Si и аморфного a-Si) представлены в табл. 1.

Материал	S, см <sup>2</sup>	U <sub>х.х.</sub> , мВ	I <sub>к.з.</sub> , мА/см <sup>2</sup>	FF, %	КПД, %	Производитель
c-Si	4,00	709	40,9	82,7	24,0	UNSW (Австралия)
c-Si	45,7	694	39,4	78,1	21,6	UNSW (Австралия)
mc-Si	1,00	636	36,5	80,4	18,6	Georgia Tech. (США)
mc-Si	100	610	36,5	77,7	17,2	Sharp (Япония)
tf-Si	240	582	27,4	76,5	12,2	Astro Power (США)
tf-Si	4,04	699	37,9	81,1	21,1	UNSW (Австралия)
a-Si:H	1,06	864	16,6	71,7	10,3	Chronar (США)
a-Si:H	1,00	887	19,4	74,1	12,7	Sanyo (Япония)

В целом a-Si является достаточно перспективным материалом для солнечных элементов с относительно высоким КПД, низкой себестоимостью и малым расходом материала за счет значительно меньшей толщины поглощающего слоя, чем у остальных солнечных элементов на основе кремния.

Единственная и, пожалуй, главная проблема: деградация a-Si в процессе эксплуатации, что в значительной степени снижает КПД солнечных элементов и не позволяет применять их при наличии сильных ионизирующих излучений (например, в космосе). Кроме того, отработанность технологических процессов нанесения a-Si оставляет открытым для рационализации исключительно конструктивные особенности аморфных солнечных элементов (введение новых слоев и переходов, легирование и т. п.). При этом повышение КПД сказывается на себестоимости элемента за счет введения дополнительных технологических операций для нанесения новых слоев.

## ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фаренбрух А. Солнечные элементы: теория и эксперимент / А. Фаренбрух, Р. Бьюб. - М.: Энерго-атомиздат, 1987. - 280 с.
2. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы / Пер. с англ. с сокращениями. - М.: Мир, 1986. - 435 с.
3. Berkinov, A., & Tashpulatova, D. (2021). Energy parameters of heterostructural solar photocells.