

УДК 620.98

## «ЗЕЛЁНЫЙ ДОМ». ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ

Е.Д. Черенцов<sup>1</sup>, И.М. Щадов<sup>2</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведен анализ тонкопленочных солнечных батарей в сравнение с традиционными кристаллическими солнечными панелями, которые набирают перспективное направление в будущем, т. к. обладают высокой эффективностью и низкой себестоимостью. Тонкая пленка является намного более рентабельным способом производства энергии и может переиграть монокристаллы в областях с туманным, пасмурным климатом или в тех отраслях промышленности, которым свойственна запыленность воздуха или высокое содержание в нем иных макрочастиц.

*Ключевые слова:* солнечные батареи; солнечная энергетика; тонкопленочные технологии; фотоэлементы; КПД.

### "GREEN HOUSE". THIN-FILM SOLAR BATTERIES

E.Charentsov, I.Schadov

Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russia.

The article provides the analysis of thin-film solar cells in comparison with conventional crystalline solar panels, which are gaining a promising direction in the future, as they have high efficiency and low cost. A thin film is a much more cost-effective way for producing energy and has an advantage over single crystals in the regions with a foggy, cloudy climate or in those industries that have suspended materials concentration or other macro particles in the air.

*Keywords:* solar battery; solar power; thin-film technology; photocells.

Тонкопленочные солнечные батареи - это солнечные модули, в которых полупроводник осаждается тонким слоем (толщиной порядка одного микрона) на тонкую подложку из стекла или стали. В качестве полупроводника могут выступать различные материалы, обладающие способностью поглощать свет. Наиболее часто для этого используется аморфный кремний или поликристаллические материалы, такие как теллурид кадмия (CdTe), CIS и CIGS. Тонкопленочные солнечные батареи на основе CdTe/CIS/CIGS еще не доведены до массового производства, однако это направление перспективно, поскольку такие батареи обладают высокой эффективностью и в то же время дешевы в изготовлении. Основные характеристики тонкопленочных солнечных батарей представлены в таблице.

### Основные характеристики тонкопленочных солнечных батарей

Материал: Аморфный кремний						
Размер панели: 1,3x1,1 м <sup>2</sup>						
Вес: 26,5 кг						
Температура эксплуатации и хранения -40..+85 °С						
	Мощность, Вт	Напряжение открытого контура, В	Ток короткого замыкания, А	Напряжение при пиковой мощности, В	Ток при пиковой мощности, А	Цвет
ASB4-080	80	97,3	1,23	94,2	1,1	оранжевый
ASXS-100	100	119,9	1,42	88,63	1,13	черный

<sup>1</sup> Черенцов Евгений Дмитриевич, студент гр. ИНБ-13-1, Институт экономики, управления и права, e-mail: [dreamcast117@yandex.ru](mailto:dreamcast117@yandex.ru)

Charentsov Eugeniy, a third-year student of Management Economics and Law Institute, e-mail: [dreamcast117@yandex.ru](mailto:dreamcast117@yandex.ru)

<sup>2</sup> Щадов Иван Михайлович, д-р техн. наук, зав. кафедрой управления промышленными предприятиями, e-mail: [c12@istu.edu](mailto:c12@istu.edu)

Schadov Ivan, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Industrial Business Management Department, e-mail: [c12@istu.edu](mailto:c12@istu.edu)

Максимальное напряжение системы	1000 В (TUV); 600В (UL) (по постоянному току)
Номинальное напряжение	24В
Максимальный ток перегрузки	3А
Температурные коэффициенты	Ikз: +0.08%/°C; Voc: -0.30%/°C; Pmpp: -0.23%/°C
Стандартные условия	1000W/m2, AM1.5, 25°C

Тонкопленочные технологии, являющиеся на сегодняшний день наиболее перспективными в солнечной энергетике, позволили существенно снизить затраты на производство. Разработано несколько типов тонкопленочных фотоэлементов, как находящихся на стадии исследований и экспериментов, так и успешно применяемых в различных областях человеческой деятельности.

Наиболее известные из них – это:

- аморфный кремний (a-Si: H);
- теллурид/сульфид кадмия (CTS);
- медно-индиевый или медно-галлиевый диселенид (CIS or CIGS), тонкопленочный кристаллический кремний (c-Sifilm);
- нанокристаллические сенсibilизированные красителем электрохимические фотоэлементы (nc-dye).

Тонкопленочные панели не требуют прямых солнечных лучей, работают при рассеянном излучении, благодаря чему суммарная вырабатываемая за год мощность больше на 10–15 %, чем вырабатывают традиционные кристаллические солнечные панели. Тонкая пленка является намного более рентабельным способом производства энергии и может переиграть монокристаллы в областях с туманным, пасмурным климатом или в тех отраслях промышленности, которым свойственна запыленность воздуха или высокое содержание в нем иных макрочастиц [1].

Тонкопленочные панели в 95 % случаев используются для «он-грид» систем, генерирующих электроэнергию непосредственно в сеть. Для этих панелей необходимо использовать высоковольтные контроллеры и инверторы, не стыкующиеся с маломощными бытовыми системами [2].

Хотя себестоимость тонкопленочных панелей невысокая, они занимают значительно большую площадь (в 2,5 раза), чем моно- и поли-кристаллические панели. Из-за меньшего КПД. Тонкопленочные панели эффективно использовать в системах мощностью 10 кВт и более. Для построения небольших автономных или резервных систем электроснабжения используются монокристаллические и поликристаллические панели.

Тонкопленочные кремниевые солнечные батареи производятся уже довольно давно. Они применяются в часах и калькуляторах. Аморфный кремний в них осаждается на тонкую подложку. Нужно отметить, что эффективность тонкопленочных солнечных батарей на основе аморфного кремния существенно ниже, чем у солнечных батарей на основе кристаллического кремния, однако высокая эффективность в данном случае не является критически важной характеристикой и для бытовых устройств типа часов или калькуляторов тонкопленочные батареи на основе аморфного кремния являются стандартом. Более того, эффективность таких батареек под воздействием света со временем снижается на 13–15 % [3].

Национальная лаборатория возобновляемой энергии (NREL) министерства энергетики США предприняла попытку систематизировать основные концептуальные методы преобразования солнечного света в электроэнергию и оценить последние успехи в этой области. Ниже дается краткий обзор основных достижений в сфере развития тонкопленочных солнечных технологий. CdTe: 18,3 % [3–4].

Специалистам GeneralElectricResearch (GE) удалось повысить КПД тонкопленочных солнечных элементов на основе теллурида кадмия (CdTe) до 18,3 %. Это серьезный успех, если учесть, что прежний рекорд, установленный американским производителем солнечных модулей FirstSolar в 2012 году, побит на целый процентный пункт. Впрочем, в GE считают, что результат мог быть и выше: технология, приобретенная GE у компании PrimeStar, еще недостаточно освоена.

По словам руководителя команды разработчиков ЭнилаДаггала, три года назад GE производила тонкопленочные фотоэлементы с КПД в 10 %. Сейчас компания намерена довести этот показатель примерно до 20 % (такой КПД имеют современные солнечные элементы на базе поликристалли-

ческих кремниевых элементов). Не раскрывая суть технологии, Даггал объяснил, что существенное повышение КПД стало результатом материаловедческих, конструкционных и технологических разработок. Он также сообщил, что GE рассматривает вопрос о создании пилотной линии по производству солнечных элементов на основе CdTe с КПД порядка 15 %. CIGS (на полимерном основании): 20,4 % [5].

Ученые из Empa, швейцарской Федеральной лаборатории технологий и материаловедения, утверждают, что создали солнечные элементы на основе соединения диселенида галлия, индия и меди (CIGS) на тонком полимерном основании, обеспечивающие 20,4 %-ную эффективность преобразования солнечного света в электроэнергию. Официальное подтверждение этого достижения пока не получено: проверкой занимается другая исследовательская лаборатория, установившая рекорд по КПД для солнечных элементов CIGS-типа (18,7 %) более полутора лет назад.

Разработчики из Empa объяснили, что добились повышения КПД, изменив характеристики слоя CIGS, выращиваемого при низких температурах. По их мнению, гибкие тонкопленочные солнечные элементы на основе CIGS теперь сравнялись по эффективности с многослойными поликристаллическими твердотельными кремниевыми фотоэлементами, что позволяет всерьез задуматься об их промышленном производстве. CIS: 19,7 % Японская компания SolarFrontier создала тонкопленочные фотоэлементы, использующие полупроводниковый материал на основе меди, индия и селена (CIS), с рекордным КПД в 19,7 % (прежнее достижение для фотоэлементов этого типа составляло 18,6 %).

Рекорд был подтвержден японским Национальным институтом перспективных промышленных исследований и технологий. Фотоэлементы вырезались из подложки размером 30 x 30 см, а поглощающие пленки наносились методом напыления и селенизации (термической обработки в парах Se), который, как надеются разработчики, позволит в будущем добиться более высокого КПД солнечных батарей промышленного производства, чем при использовании метода соиспарения (с помощью которого созданы солнечные элементы, которым сейчас принадлежит рекорд по КПД – 20,3 %).

В технологии SolarFrontier не применяется кадмий, что делает ее более экологичной в сравнении другими тонкопленочными солнечными технологиями. КПД модулей, производимых на заводе компании в городе Кунитомо, превышает 13 %. В классификации, составленной NREL, технология CIS отдельно не выделяется, а специалисты спорят по поводу того, следует ли ее рассматривать как самостоятельную фотовольтаическую технологию. Тандемные органические фотоэлементы: 12,0 %. Немецкая компания Heliatek сообщает, что ее специалисты создали органический тонкопленочный фотоэлемент с КПД 10,7 %, что является рекордом для элементов такого типа. В фотоэлементах стандартного размера 1,1 см<sup>2</sup> используются два запатентованных поглотителя, способных преобразовывать свет с длинами волн широкого диапазона [6].

Достижение Heliatek подтверждает правильность решения, принятого специалистами компании: они решили отказаться от дальнейшего развития полимерных фотоэлементов, так как все полимеры имеют обыкновение разрушаться под действием солнечного света, и сделали выбор в пользу технологии напыления олигомерных покрытий на полиэфирную подложку (похожая методика применяется в производстве OLED-дисплеев для телефонов и телевизоров). Она позволяет наносить на подложку большое число сверхтонких (до 5 нм) слоев поглотителя и создавать тандемные или трехкомпонентные фотоэлементы, способные абсорбировать свет более широкого диапазона и имеющие больший жизненный цикл, чем кремниевые фотоэлементы.

Девять месяцев назад продукты Heliatek установили рекорд по КПД для органических фотоэлементов – 10,7 %, но компания намерена к 2015 году довести этот показатель до 15 %. Повышение КПД фотоэлементов – основная задача ученых, развивающих солнечные технологии. Однако следует понимать, что все эти технологии должны, прежде всего, быть пригодными для массового производства (по стоимости и объему вырабатываемой продукции, в данном случае — электроэнергии) и решать практические задачи как минимум не хуже, чем уже используемые производственные технологии. Будучи перенесенными из лабораторных условий в промышленные, кремниевые фотоэлементы-рекордсмены теряют порядка 10 % своего КПД, а тонкопленочные – все 20 %.

У тонкопленочных фотоэлементов есть неплохие шансы сравняться с кремниевыми по стоимости производства (в расчете на единицу мощности), но их более низкий КПД должен компенсироваться либо эксплуатационными характеристиками (например, более низкой скоростью деградации), либо сокращения, так называемого баланса системы расходов.

Таким образом, можно сделать вывод, что тонкопленочные солнечные батареи могут стать батареями будущего.

### Библиографический список

1. Суслов К.В., Конюхов В.Ю., Зимина Т.И., Шамарова Н.А. Техничко-экономические аспекты применения возобновляемых источников энергии: монография. – Иркутск: Изд-во ИрННТУ, 2014.
2. Тонкопленочные солнечные батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solar-panels.com.ua/produkcija/gibkie-solnechnye-batarei/>
3. Тонкопленочные солнечные батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecomotors.ru/index.php?productID=2394>
4. Тонкопленочные солнечные батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/tonkoplenochnye-solnechnye-batarei/>
5. Конюхов В.Ю., Суслов К.В., Федчишин В.В., Чемезов А.В., Кычкина Е.А., Яхина Е.Р., Шамарова Н.А., Зимина Т.И. Управление издержками на энергопредприятии: монография. – Иркутск, 2015.
6. Дыкусов Г.Е., Карлина Т.И., Конюхов В.Ю., Дружинина Т.Я., Горбунов Р.Н. Анализ рисков проекта и организационный план // Журнал ИрГУПС: Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2015. – Т. 2. – С. 256–262.