

## СОЛНЕЧНЫЙ КРЕМНИЙ

*В.А. Шаповалов*

*Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина*

*E-mail: shapovalov@paton.kiev.ua*

Представлены результаты развития солнечной энергетики к концу 2011 года. Показано, что строительство большой солнечной электростанции является ошибочным. Солнечная энергия должна потребляться в районе, в котором она производится. Приводится краткая информация о реализации украинской программы «Кремний».

Как известно, большая часть производимого в мире чистого кремния используется для изготовления фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечной энергии в электрическую (рис. 1). Производство ФЭП практически ежегодно удваивается. Аналогично увеличивается установленная мощность ФЭП (рис. 2) [1].

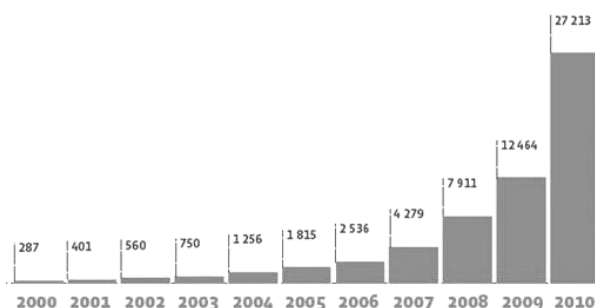


Рис. 1. Мощность произведенных ФЭП, МВт

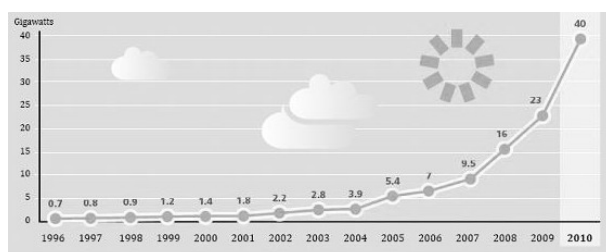


Рис. 2. Установленная мощность ФЭП, ГВт

Наиболее крупные производители ФЭП сегодня находятся в Китае (рис. 3), а установленная мощность, примерно 70%, сосредоточена на европейском континенте (рис. 4).

Количество произведенной энергии в 2010 г. в Европейском союзе с помощью ФЭП составило 22451,6 ГВт·ч. При этом основное количество как ФЭП, так и генерируемых мощностей (до 98%) находится у индивидуальных пользователей.

В Украине в 2010 г. произведено 10,0 ГВт·ч. Преобладающая часть генерирующих «солнечных» мощностей сконцентрирована на электростанциях, присоединенных к местным сетям или включенных в республиканскую сеть. В 2010 г. введено 8 МВт. В 2011 г. планировалось ввести не менее 60 МВт, а в перспективе построить электростанции мощностью 600 МВт в Крыму и 420 МВт в Одесской области.

Geographic distribution of photovoltaic cells production (MWp) in 2009 and 2010  
Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma.  
Source : Photon International (mars 2012/March 2012).

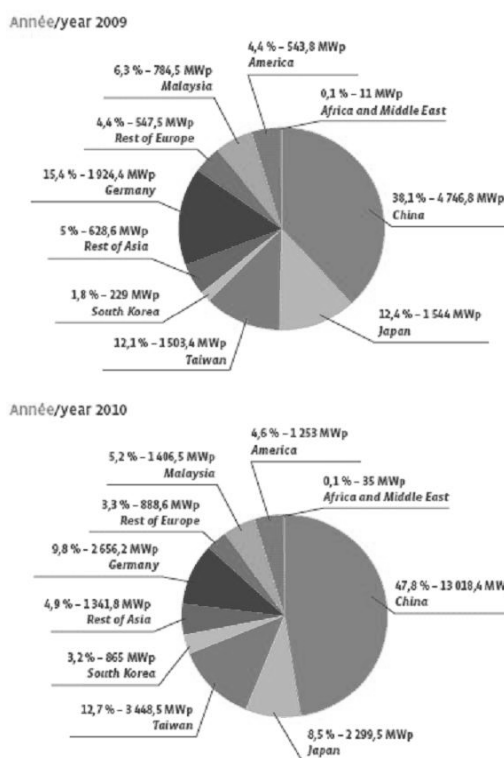


Рис. 3. Реализация ФЭП

Такая же тенденция наблюдается и в США. Строятся две электростанции мощностью 600 и 550 МВт.

Основных проблем в солнечной энергетике две:

- как использовать выработанную электроэнергию в то время, когда она не нужна;
- как снизить цену на электроэнергию (на ФЭП).

Революционных прорывов в решении первой проблемы нет. Поэтому в мире сейчас обсуждается вопрос с последующим принятием соответствующего закона о запрете подачи электрической энергии в сеть в то время, когда она не нужна, т. е. когда частота сети повышается до 50,2 Гц [2]. Поэтому концентрация генерирующих «солнечных» мощностей в существующих реальных условиях является ошибочной. Солнечная электроэнергия должна потребляться или аккумулироваться там, где она вырабатывается.

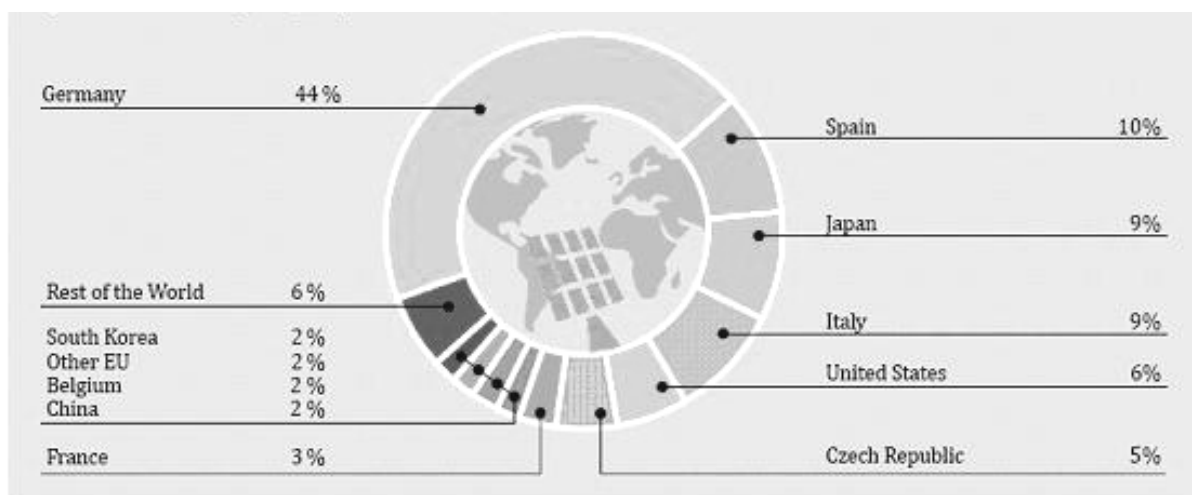


Рис. 4. Распределение установленной мощности ФЭП по десяти странам

Решение второй проблемы имеет несколько составляющих, интегрированных в такой показатель, как себестоимость 1 Вт в ФЭП, которая складывается из себестоимости исходного чистого кремния и себестоимости дальнейших переделов, включая изготовление самого фотопреобразователя. Эта комплексная задача в мире решается различными путями: совершенствованием уже существующего технологического процесса или созданием новых технологий.

В Украине развитие идет двумя путями. В стадии реконструкции находится ВАТ «Завод полупроводников» и функционирует ГЦНТП «Создание химико-металлургической отрасли производства чистого кремния в течение 2009-2012 годов» [3].

Реконструированное предприятие при сверхмощной агрессивной конкуренции, особенно со стороны китайских производителей, будет практически на грани выживания. Его деятельность может быть успешной, если в дальнейшем будут разработаны и использованы новые нетрадиционные технологии получения чистого кремния, его переработки и развиты новые технологии изготовления фотопреобразователей, что позволит существенно снизить себестоимость ФЭП. Эти проблемы решаются государственной программой, работы по которой развернуты по шести направлениям.

В первом направлении основное внимание уделяется созданию технологии и оборудования для обогащения кварцитов, используемых в качестве шихты для восстановительной плавки в рудотермической печи.

Во втором направлении предусматривается применение плазменных, электронно-лучевых технологий и индукционного нагрева для разработки химико-металлургических технологий получения чистого кремния из силанов и технологий рафинирования металлургического кремния в контролируемых средах.

В третьем направлении предусматривается разработка технологий и оборудования для выращивания моно- и мультикристаллов. Основное внимание обращается на создание

высокопроизводительных малозатратных технологий.

Четвертое направление связано с созданием новых технологий изготовления фотопреобразователей солнечной электроэнергии в электрическую.

Пятое направление включает проведение работ по сертификационному обеспечению и стандартизации.

Шестое направление обеспечивает проведение проектно-конструкторских, строительного-монтажных и пусконаладочных работ.

Программа имеет два источника финансирования:

- внебюджетные средства от инвесторов;
- государственный бюджет.

В 2010 г. инвесторы закупили оборудование на сумму 879100,00 тыс. грн., провели работы по его монтажу и строительству промышленных зданий, т. е. инвестиционная составляющая выполнена полностью.

Из государственного бюджета на исследования для НАН Украины было выделено 3436,00 тыс. грн., что составило 17,4% от запланированного в программе. В связи с ограниченным бюджетным финансированием программы в 2010 г. выполнялись только отдельные наиболее важные работы. По первому направлению, связанному с обогащением кварцевого сырья, выполнялась одна работа, по второму направлению – пять:

- метрологическое и технологическое обеспечение химико-металлургических процессов получения чистого кремния при выращивании крупных монокристаллов и мультикристаллов;
- исследование процесса получения кремния высокой чистоты плазмохимическим восстановлением очищенных силанов в низкотемпературной плазме атомарного водорода и создание оборудования для реализации технологии;
- исследование влияния примесного состава кремния на свойства и деградацию его характеристик под воздействием радиации. Оптимизация технологии выращивания кристаллов для получения фотопреобразователей с повышенными эксплуатационными характеристиками;

– разработка технологии рафинирования металлургического кремния с помощью комбинированного нагревания высокочастотным полем и электронным лучом;

– разработка конструкции низковакуумной электронной пушки для плавки в условиях повышенного давления остаточных газов в плавильном пространстве.

По третьему направлению выполнялось пять работ:

– создание оборудования и разработка технологии выращивания профилируемых монокристаллов в виде слитков и лент;

– отработка технологических параметров и создание пилотного образца оборудования для полунепрерывного выращивания профилированных слитков мульткристаллического кремния;

– разработка технологии выращивания поли- и монокристаллического кремния с повышенной однородностью распределения технологических примесей (кислорода и легирующих компонентов) со сниженным содержанием примесей переходных металлов и углерода;

– математическое моделирование кристаллизации слитков монокремния;

– математическое моделирование полунепрерывного процесса кристаллизации с вытягиванием слитков мульткристаллического кремния.

По четвертому направлению выполнялись две работы:

– разработка технологии изготовления преобразователей солнечной энергии;

– разработка и совершенствование методов изготовления полупроводниковых фотовольтаических приборов и создание технологии и оборудования для промышленной реализации.

В 2011 г. ситуация с финансированием исследовательских работ из государственного бюджета ухудшилась. Финансирование работ НАНУ составило 7,4% от плана. В связи с этим в текущем году из тринадцати исследовательских работ, начатых в 2010 г., финансировалось только девять. Разрабатываются только ключевые работы:

обогащение кварцитов, метрологическое обеспечение, плазмохимия, исследование деградации материала под воздействием радиации, разработка технологий получения монокристаллов с пониженным содержанием примесей переходных металлов, создание пилотной установки для плавки кремния, математическое моделирование процессов плавки кремния и кристаллизации слитков, разработка новых технологий по созданию фотопреобразователей.

Изначально сам процесс формирования программы и начало ее финансирования несколько затянулись. Кроме того, недостаточное финансирование не позволило начать основные работы в полном объеме. В то же время наука и промышленность в других странах получила мощный импульс в развитии. С учетом новых достижений науки и сложившихся условий финансирования некоторые направления работ программы требуют изменений. В связи с этим необходимы корректировка содержания, сроков выполнения и объемов финансирования программы. Ее выполнение позволит в дальнейшем выйти на современный уровень производства чистого кремния и ФЭП, что даст возможность удовлетворить спрос внутреннего рынка и развить экспорт.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Report Citation. REN 21.2011. *Renewables 2011 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat), 116 p.

2. *Retrofitting of pv systems to solve 50.2 hz problem planned*, By: BSW-Solar, Tuesday, 20 September, 2011.

[http://en.solarwirtschaft.de/home/news/meldung/article/retrofitting-of-pv-systems-to-solve-502-hz-problem-planned.html?tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=736&cHash=12c90e4efb](http://en.solarwirtschaft.de/home/news/meldung/article/retrofitting-of-pv-systems-to-solve-502-hz-problem-planned.html?tx_ttnews%5BbackPid%5D=736&cHash=12c90e4efb).

3. ДЦНТП «Створення хіміко-металургійної галузі виробництва чистого кремнію протягом 2009-2012 років», затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 28 жовтня 2009 р, №1173.

*Статья поступила в редакцию 14.11.2011 г.*

## СОНЯЧНИЙ КРЕМНІЙ

*В.О. Шаповалов*

Представлено результати розвитку сонячної енергетики на кінець 2011 року. Показано, що будівництво великої сонячної електростанції є помилковим. Сонячна енергія повинна споживатися в районі, де вона виробляється. Наводиться коротка інформація про реалізацію української програми «Кремній».

## SOLAR SILICON

*V.A. Shapovalov*

In the article the results of development of sun energy on the end of a 2011 year are resulted. It is shown, that building of large sun power-stations is erroneous. Sun energy must be consumed wherein she is produced. Short information about motion of implementation of the Ukrainian program «Silicon» is resulted.