

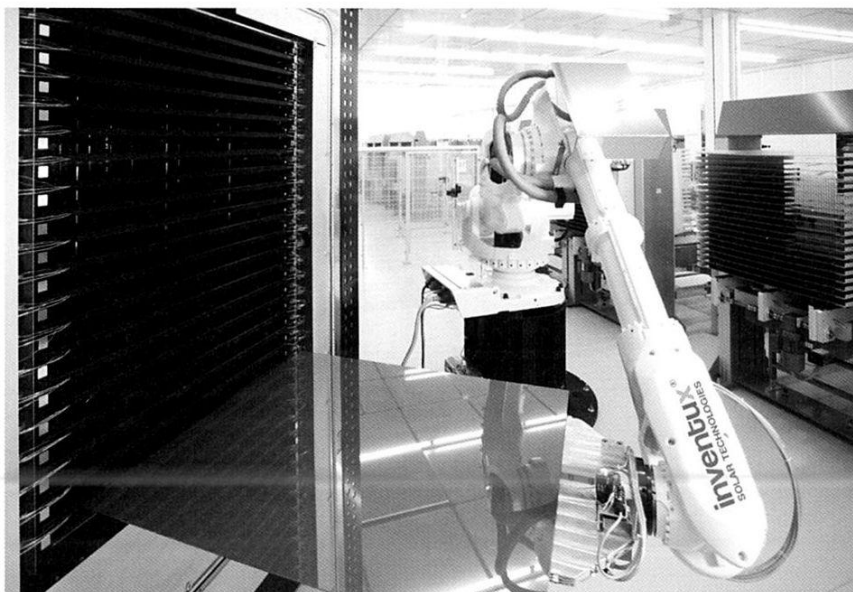
Kostensenkung in Fertigungstechnik entscheidet über Zukunftstechnologien

Dünnschicht vor dem Durchbruch

Hersteller von Dünnschicht-Solarmodulen senken ihre Kosten und gewinnen Wettbewerbskraft. Leicht werden sich die klassischen kristallinen Siliciumtechniken aber nicht vom Markt verdrängen lassen. Denn auch sie haben noch großes Entwicklungspotenzial. Das Rennen um das erfolgreichste Solarkonzept ist in vollem Gange.



■ Qualitätsprüfung: Ein Mitarbeiter der Berliner Firma Inventux nimmt die Oberfläche eines Moduls aus Dünnschichtsilicium in Augenschein. Bild: Inventux



Im Wettlauf um die effizienteste Dünnschichtszelle schließt das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) zur Weltspitze auf. Es erreichte mit Zellen auf Basis von Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIS) in einer vorindustriellen Fertigungslinie 19,6 % Wirkungsgrad. Damit liegen die Stuttgarter Forscher nur noch knapp hinter dem amerikanischen National Renewable Energy Laboratory, das im gleichen Umfeld auf 19,9 % Effizienz kommt. „Als nächstes wollen wir die 20%-Hürde nehmen“, kündigt Michael Powalla, Leiter des Geschäftsbereichs PV im ZSW, selbstbewusst an. Damit würde CIS in Effizienzbereiche der gängigen kristallinen PV vordringen: Zellen aus multikristallinem Silicium, die heute den größten Marktanteil haben, erreichen Laborwirkungsgrade von 20,3 %, arbeiten also kaum effizienter als ihre schlanken Konkurrenten.

Entwicklungspotenziale

In der Praxis bleibt die CIS-Technik aber noch hinter ihren Möglichkeiten: Industriell hergestellte Module aus diesem Halbleiter wandeln maximal 12 % des Sonnenlichts in Strom um, multikristalline Module dagegen 18,5 %, monokristalline sogar bis zu 20 %. Ihren Effizienz-Rückstand können CIS-Paneele bislang nicht durch günstigere Fertigungskosten ausgleichen: Pro Watt liegen sie in der Herstellung bei mehr als zwei Euro – auf dem gleichen Niveau wie Siliciummodule, für die viel mehr Halbleitermaterial nötig ist. Vom wichtigsten Ziel ist CIS somit noch weit entfernt: konkurrenzlos billig Strom zu produzieren.

Andere Dünnschichttechniken sind dazu bislang ebenso wenig imstande. Module aus Dünnschichtsilicium z. B. können, so sagen Experten, mehr als 15 % Wirkungsgrad erreichen und für weniger als 0,30 Euro pro W hergestellt werden. Damit würden sie jede aktuell verfügbare Solartechnik in den Schatten stellen. Noch kommen sie aber nur auf Effizienzen von rund 9 % Prozent und sind in der Herstellung drei Mal teurer.

Doppelter Marktanteil 2010

Doch CIS, Dünnschichtsilicium und Co stehen vor einem großen Entwicklungs-

■ Hoch automatisiert: In der Dünnschichtproduktion spielen Roboter eine zentrale Rolle.

Bild: Inventux

schritt. „Fast 200 Firmen produzieren derzeit Dünnschichtmodule oder arbeiten daran“, sagt Arnulf Jäger-Waldau, Energieexperte der EU-Kommission. Der europäische Photovoltaikindustrie-Verband (EPIA) erwartet daher, dass sich die Fertigungskapazität für die Technik bis 2010 auf mehr als 4 GW verdoppeln könnte – das entspräche einem Marktanteil von rund 20 %. Gleichzeitig wird die Fertigung dank neuer Herstellertechniken und Automatisierungslösungen immer effizienter. Massenfertigung und der technische Fortschritt senken die Kosten – und erhöhen die Marktchancen. Viele der produktionstechnischen Innovationen werden vom 28. September bis 1. Oktober 2010 zur Fachmesse für solare Produktionstechnik solarpeq in Düsseldorf zu sehen sein.

Der Erfolg des US-Herstellers von Modulen aus Cadmiumtellurid (CdTe) First Solar nährt das Selbstbewusstsein der Dünnschichtfirmen. Die Amerikaner fertigen nach eigenen Angaben inzwischen für rund 0,93 Dollar, umgerechnet etwa 0,67 Euro pro W – kein anderes Unternehmen produziert so günstig. Nachteil der CdTe-Module ist allerdings, dass sie derzeit nur maximal 11,1 % Wirkungsgrad erreichen. Daher benötigen sie mehr Fläche, um die gleiche Strommenge zu erzeugen wie marktgängige Siliciummodule. Die höheren Installationskosten zehren den Produktionskostenvorteil teilweise wieder auf.

Dennoch gilt First Solars Errungenschaft als Meilenstein auf dem Weg zur Wettbewerbsfähigkeit des Solarstroms. Experten hatten die Netzparität in Deutschland frühestens für 2015 erwartet. Von da an wäre Sonnenenergie nicht mehr teurer als herkömmlicher Strom aus der Steckdose. Der jüngste Fortschritt lasse diese Netzparität nun in greifbare Nähe rücken, sagt Holger Krawinkel, Energieexperte beim Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. „First Solar-Module könnten bereits Strom für umgerechnet 0,20 bis 0,25 Euro pro Kilowattstunde produzieren“, so der Experte. Der aktuelle Strompreis liegt in Deutschland bei rund 0,20 Euro.

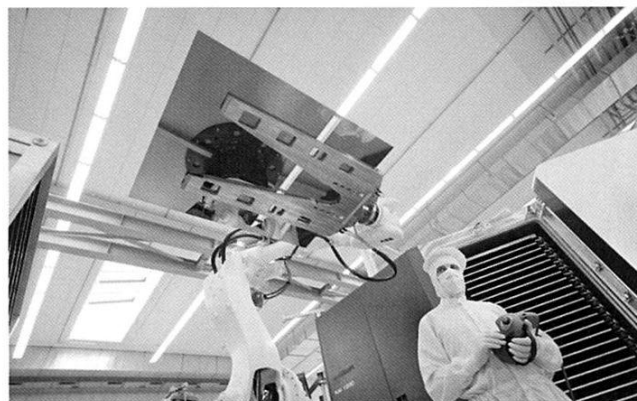
First Solar gibt den Takt vor

Bei den Kosten ist First-Solar die Messlatte. Dünnschichtfirmen, die nicht bald ebenso günstig fertigen oder mit höheren Wirkungsgraden die Systemkosten drücken, werden sich im Markt nicht durchsetzen. Zumal auch die Hersteller der marktgängigen kristallinen Technik durch steigende Massenproduktion und tech-



■ Vermummungsgebot: Schmutz schmälert den Wirkungsgrad. Deshalb findet die Dünnschichtproduktion in Reinräumen statt.

Bild: Oerlikon Solar



■ Sensibles Gut: Nach der Halbleiterbeschichtung werden Dünnschichtmodule behutsam zwischen gelagert.

Bild: Oerlikon Solar

■ Die Dünnschicht hat das Potenzial für ähnlich hohe Wirkungsgrade wie kristalline Siliciummodule. Dafür werden Siliciumpaneele langfristig ebenso günstig zu produzieren sein wie ihre schlanken Konkurrenten. Noch hinkt die Dünnschicht der kristallinen Technik aber hinterher: Ihre Effizienzen sind deutlich niedriger, und bei den Kosten können sich bisher nur CdTe-Module klar absetzen.

Effizienz- und Kostenpotenzial von Solarmodulen

Anbieter	c-Si	mc-Si	CdTe	CIS	a-Si	a-Si/ μ c-Si
Von der Industrie erreichte Effizienz (in Prozent)	19,6	18,5	11,1	12	7	9
Erreichbare Effizienz (in Prozent)	>20	20	18	18	10	15
Herstellkosten pro Watt (in €)	2	1,50-2	0,67	2	1	1
Erwartete kosten ab 2020 (in €)	<0,5	<0,5	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

c-Si = monokristallines Silicium
 mc-Si = multikristallines Silicium
 CdTe = Cadmiumtellurid
 CIS = Kupfer-Indium-Diselenid (CIS wird auch als Oberbegriff für andere auf Kupfer basierenden Halbleiterverbindungen verwandt), a-Si = amorphes Silicium
 a-Si/ μ c-Si = mikromorphes Silicium

Quellen: EU PV Platform, eigene Recherchen

nische Verbesserungen kontinuierlich ihre Kosten senken. Entsprechend ehrgeizig ist die Dünnschicht-Konkurrenz: Abund Solar aus Fort Collins, Colorado, startete erst im April 2009 die Produktion von CdTe-Modulen und will das Watt in seiner neuen 35-MW-Linie noch in diesem Jahr für einen Dollar, also etwa 0,72 Euro produzieren. 2010 seien bei 200 MW Kapazität bereits Kosten von 0,90 Dollar (rund 0,65 Euro) pro W angepeilt, sagt Gründer und Vorstandschef Pascal Noronha.

Schnell unter einen Dollar zu kommen, ist auch das Ziel der Berliner Firma Inventux. Sie produziert seit Ende 2008 Module aus sogenanntem mikromorphem Silicium. Die Technik ist eine Weiterentwicklung marktgängiger Dünnschichtpaneele aus einfachem amorphem Silicium. Mit Hilfe eines zusätzlichen Absorbers aus mikrokristallinem Silicium, der auf die amorphe Schicht aufgedampft wird, hat Inventux die Stromausbeute auf 9 % verbessert. Die avisierte Kostenersparnis sollen Ska-

leneffekte durch eine größere Produktionsmenge und weitere Effizienzverbesserungen bringen. „2010 wollen wir 10 % Wirkungsgrad erreichen“, erklärt Sprecher Thorsten Ronge. Dafür arbeitet Inventux an Prozessoptimierungen, profitiert aber auch von Innovationen seines Ausrüsters Oerlikon Solar, von dem es seine Beschichtungsanlagen bezieht. Dessen Chefin, Jeannine Sargent, verspricht, dass Ende 2010 auf Oerlikon-Anlagen die neuartigen Tandemmodule für 0,70 Dollar (circa 0,50 Euro), also zu halben Kosten gefertigt werden können.

Ähnliche Pläne hat US-Anlagenbauer Applied Materials. Er offeriert ebenfalls komplette schlüsselfertige Linien für die Produktion von Modulen aus Dünnschichtsilicium. „Wir sind optimistisch, dass wir schon kurzfristig Herstellkosten von weniger als einem Dollar ermöglichen können“, sagt Christopher Beitel, der Chef der Dünnschichtabteilung. Auf der solarpeg 2010, bzw. der parallel stattfindenden glasotec, der Weltleitmesse der Glasbranche, zu der Unternehmen auch solare Anwendungen präsentieren, werden die Amerikaner ihr Produktportfolio vorstellen. Darunter auch ihre Dünnschichtlinie SunFab.

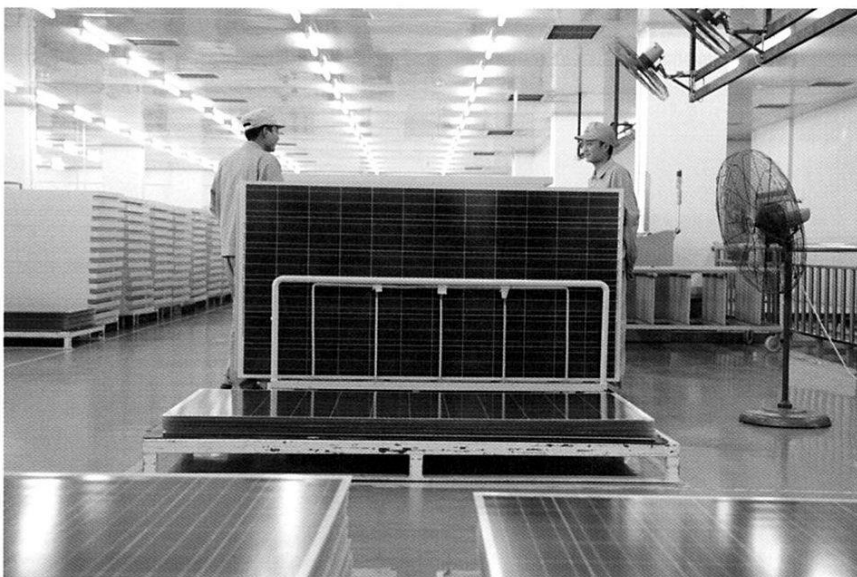
Noch ehrgeiziger sind die Pläne der US-Firma Nanosolar. Sie hat einen Herstellungsprozess entwickelt, bei dem winzige Nanopartikel aus Kupfer, Indium, Gallium, Selen und eventuell Schwefel im Roll-zu-Rolle-Verfahren auf eine Folie gedruckt werden. Auf 0,30 bis 0,35 Dollar (0,22 bis 0,25 Euro) wollen die Amerikaner mit ihrer innovativen Drucktechnik die Kosten senken – auf rund ein Drittel der Fertigungskosten des Branchenprimus First Solar. „Wir können große Flächen in sehr kurzen Taktzeiten beschichten“, erklärt Nanosolar-Sprecher Erik Oldekop. Die Fabriken stehen bereits, der Start der Serienfertigung naht. In einem 430-MW-Werk in San José, Kalifornien, will Nanosolar die Zellen herstellen und diese dann in Luckenwalde bei Berlin zu Modulen verschalten.

Kristalline mit hoher Effizienz

Im Dünnschichtsektor stehen die Zeichen also klar auf Wachstum. Wie viele Hersteller ihre ambitionierten Ausbau- und Produktionsziele im zeitlich vorgegebenen Rahmen erreichen, ist aber offen. Verzögerungen sind keine Seltenheit: Bis eine Technik die Serienreife erreicht, vergehen oft viele Jahre: Industrietaugliche Herstellungsprozesse müssen entwickelt, viel Geld in Forschung und Tests investiert werden.



■ Halbleitercheck: Ein Mitarbeiter der chinesischen Firma Suntech Power präpariert die Wafer zur Zellenprozessierung vor. Bild: Suntech Power



■ Bereit für den Markt: Nach der Produktion werden die kristallinen Siliciummodule der chinesischen Firma Suntech ins Lager gebracht. Bild: Suntech Power

First Solar zum Beispiel hat für die Kommerzialisierung seiner Module genau ein Jahrzehnt gebraucht. CIS-Hersteller Würth Solar optimierte seine Technik sieben Jahre in einer Pilotlinie, bevor er 2007 mit der Serienfertigung beginnen konnte.

Viel Zeit, um serienreife Produkte zu präsentieren, haben die Dünnschicht-Newcomer aber nicht. Denn die kristalline Konkurrenz treibt die Entwicklung neuer Techniken ebenfalls mit hohem Einsatz voran: Wirkungsgrade steigen, Kosten fallen. Wissenschaftler glauben deshalb, dass an der konventionellen Solartechnik auch künftig kein Weg vorbeiführen wird. „Kristalline Siliciumzellen werden weiterhin eine dominierende Rolle spielen“, sagt Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Entwicklung und Charakterisierung von Siliciumsolarmodulen am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg.

So herrscht auf der oberen Wirkungsgradskala ein reger Wettstreit um die besten Konzepte: Forscher der University of New South Wales in Sydney, Australien, erreichten mit einer monokristallinen Zelle im Labor 24,7 % Effizienz – diesem Weltrekord kommt die Industrie immer näher. Das chinesische Solarunternehmen Suntech Power etwa bietet seit diesem Sommer ein Modul an, das 7 % mehr Strom erzeugt als sein bislang leistungsstärkstes Paneel. Herzstück der Technik sind neuartige sogenannte Pluto-Zellen, die dank einer speziell behandelten Oberfläche und dünneren elektrischen Kontakten auf der Vorderseite mehr Licht absorbieren. Dadurch steigt der Wirkungsgrad von 15,2 auf bis zu 17,5 % bei multikristallinen Zellen und von 17,2 auf bis zu 19 % bei monokristallinen. Das Herstellungsverfahren basiert auf Know-how aus Deutsch-



■ Dünnschicht für US-Dächer: Vor allem in Kalifornien entstehen derzeit überall Solarkraftwerke. Auf diesem Dach in Fontana werden zwei Megawatt First Solar-Module verbaut.

Bild: First Solar

land: 2008 hat Suntech den Schwarzwälder Anlagenbauer KSL Kuttler übernommen, der Ausrüstung und Automation für die Pluto-Fertigung liefert.

Großes Potenzial sprechen Experten auch sogenannten Rückkontaktzellen zu. Stromsammelschienen und Kontakte befinden sich hier nicht auf der Vorder-, sondern komplett auf der Rückseite der Zelle, sodass sich die solaraktive Fläche des Moduls vergrößert. Der führende Hersteller von Rückseitensammlern, die US-Firma Sunpower, fertigt bereits Zellen mit mehr als 20 % Wirkungsgrad. Damit pro-

duzierte Module erreichen 19,6 % Effizienz und erzeugen 315 W Strom – kein Modul hat mehr Power.

Siliziumpreise fallen

Sinkende Siliziumpreise spielen den Firmen in die Hände: Die Nachfrage nach dem Halbleiter wuchs in den vergangenen Jahren so stark, dass die Hersteller mit dessen Produktion kaum hinterher kamen. Das hat die Spotmarktpreise 2008 auf bis zu 400 Dollar (etwa 285 Euro) pro kg getrieben. Jetzt, da die Solarbranche wegen der Krise nicht mehr so rasant wächst,



■ Grenzenlos solar: Die aus kristallinen Modulen der Firma Aleo Solar bestehende Freilandanlage Vidana mit vier Megawatt Leistung ist nur eines von vielen Solarkraftwerken in Spanien. Bild: Aleo Solar

Falling silicon prices

The drop in silicon prices is a boon for companies in this sector. Semiconductor demand had increased so strongly over the past few years that manufacturers could hardly keep pace with their output. In 2008 this brought spot market prices up to USD 400 (about € 285) a kilo. Now, silicon prices are dropping significantly below that as the solar energy sector does not longer grow that rapidly because of the crisis. According to iSupply, a market researcher, the price stood at only USD 75 (about € 53) in June this year and there is a tendency for that price to drop even further.

Manufacturers of thin-film modules will therefore face fierce battles to retain or conquer market shares. To begin with, their technology may face difficulties where large outputs are to be generated from a small surface area, because of fairly low efficiencies. House owners in countries, where solar energy enjoys active promotion, such as Germany, will instead prefer putting crystalline silicon panels on their roofs, because these simply generate more electricity per square metre of roof area and also result in higher compensation for electricity fed into the grid. The latter will be more than enough to offset the pricing disadvantage as compared to thin-film collectors. These, however, will find short-term chances on large industrial and commercial roofs or in free-range areas offering plenty of space and where there is less pressure on generating maximum output from a limited surface. Also, and because of their flexibility and low weight, thin-film modules may be more easily integrated into the walls or roofs of a building when compared to electricity-generating windows or façades. Thus they do not only improve the energy balance of a building but they also make for more creative freedom of architects and planners. Numerous creative solutions for building-integrated photovoltaics were already on demonstration at the latest glasstec trade fair held in Düsseldorf in 2008.

CIS, CdTe and similar products will emerge to be more than niche products once their manufacturers live up to their announcements and drastically reduce manufacturing cost within very short time frames. When their slim electricity generators then close the gap separating them from efficiency rates scored by the crystalline competition, they might even take over as the leading solar energy technology. In theory, therefore, thin-film cells may bring about much, but companies manufacturing them will first have to turn their ideas into capacities. Their plants just brought out 800 MW in 2008, of which 500 MW alone came from the lines of first Solar.

According to information provided by EPIA, conventional photovoltaics cell manufacturers produced seven times as much. Trade fairs, such as solarpeq and glasstec 2010, will be pointers to the way developments will go, because there hardly is any other sector depending to such a degree on the influence of innovations to revolutionise manufacturing technologies by reducing cost.

wird Silicium deutlich billiger: Nur noch 75 Dollar (circa 53 Euro) mussten dafür laut Marktforscher iSupply im Juni 2009 gezahlt werden, Tendenz weiter fallend.

Die Dünnschichtfirmen werden also hart um Marktanteile kämpfen müssen. Vorerst dürfte es ihre Technik wegen der relativ niedrigen Effizienz vor allem dort schwer haben, wo viel Leistung auf wenig Fläche erbracht werden muss. Hausbesitzer in Ländern mit attraktiver Solarförderung, wie z. B. in Deutschland, werden ihr Dach eher mit kristallinen Siliciumpaneelen bestücken, weil diese pro Quadratmeter Fläche schlicht mehr Strom erzeugen und eine Einspeisevergütung erwirtschaften, mit der sich der Preisnachteil gegenüber der Dünnschicht mehr als aufwiegen lässt. Kurzfristige Chancen bieten sich den schlanken Lichtsammlern dagegen auf großen Industrie- und Gewerbedächern oder im Freiland, wo reichlich Platz vorhanden ist und es weniger darum geht, auf einer begrenzten Fläche maximale Leistung zu generieren. Auch können Dünnschichtmodule wegen ihrer Flexibilität und des geringen Gewichts besser als stromerzeugende Fenster oder Fassaden in die Gebäudehülle integriert werden. So verbessern sie nicht nur die Energiebilanz eines Gebäudes, sondern erweitern auch den gestalterischen Freiraum der Architekten und Planer. Zur letzten glasstec im Oktober 2008 waren schon zahlreiche kreative Lösungen gebäudeintegrierter PV in Düsseldorf zu sehen.

Mehr als Nischenprodukte werden CIS, CdTe & Co, wenn die Hersteller ihre Ankündigungen wahr machen und ihre Fertigungskosten binnen kurzer Zeit drastisch reduzieren. Schließen die schlanken Stromgeneratoren dann auch noch bei der Effizienz zu ihren kristallinen Konkurrenten auf, könnten sie sogar zur dominierenden Solarstromtechnik avancieren. Theoretisch kann die Dünnschicht also viel bewegen, doch nun müssen die Firmen ihre Ideen erst mal in Kapazitäten umsetzen. Nur 800 MW spuckten ihre Fabriken 2008 aus, davon stammten allein 500 MW aus First Solar-Linien – in der konventionellen PV wurde laut EPIA im vergangenen Jahr sieben Mal mehr hergestellt. Messen wie die solarpeq und glasstec 2010 werden zeigen, in welche Richtung die Entwicklung gehen wird – denn in kaum einer Branche ist der kostensenkende Einfluss von Innovationen im Bereich der Fertigungstechnik so zukunftsentscheidend. ■