



Schwarz und kupferhaltig: Die Fassade am Labor des Ferdinand-Braun-Instituts für Höchstfrequenztechnik in Berlin ist mit Solarmodulen aus Kupfer, Indium und Schwefel der Firma Sulfurcell verkleidet.

Die Kupferkönner

Mit hocheffizienten **CIS-Dünnschichtmodulen** billig Sonnenstrom generieren – bislang galt das als kühne Vision. Doch jetzt will die Solarindustrie das große Potenzial der Technik heben, treibt Innovationen eifrig voran, baut **bessere und höhervolumige Produktionen**. Deutsche Firmen geben den Takt vor.

Text: Sascha Rentzing

Von einem solchen Wachstum können die meisten Solarfirmen derzeit nur träumen: Umsatz plus 58,1 Prozent, Gewinn vor Zinsen und Steuern (Ebit) plus 16,8 Prozent. Diese Zahlen präsentiert nicht etwa einer der zuletzt viel frequentierten deut-

schen Photovoltaik(PV)-Großhändler – sie beschreiben die Geschäftsentwicklung des schwäbischen Maschinenbauers Centrotherm in den ersten neun Monaten 2009. Der Ausrüster profitiert vom Expansionseifer asiatischer PV-Hersteller. Suntech, Yingli

& Co wollen die PV-Märkte erobern, investieren massiv in den Ausbau ihrer Herstellkapazitäten (siehe Seite 72). Centrotherm-Equipment ist besonders gefragt: Insgesamt rund 500 Megawatt (MW) kristalline Zelllinien verkaufte das Unternehmen 2009, den

größten Teil davon nach Fernost. In Asien könnte für Centrotherm jetzt die nächste Erfolgsstory beginnen: Derzeit fahren die Spezialisten für die taiwanische Firma Sunshine ein Werk für CIGS-Dünnschichtmodule mit 30 MW Kapazität hoch. Das Besondere: Es ist die weltweit erste Kupfermodul-Fabrik von der Stange. Centrotherm baut sie, fährt sie ein und garantiert Leistungsparameter wie Ausbeute, Ausstoß und Moduleffizienz. „CIS-Hersteller haben es noch nicht geschafft, sehr hohe Kapazitäten in den Markt zu legen. Wir können das ändern“, sagt Centrotherms Dünnschicht-Bereichsleiter Hartmut Gross.

Die Industrie zeigt offenbar großes Interesse am neuen Turnkey-Werk: Man habe, so Gross, bereits mehrere Kontrakte geschlossen. Als nächstes will Centrotherm für die Hamburger Illies Renewables in Magdeburg eine 50-MW-Fabrik installieren.

Turnkey für CIS

Nicht nur durch Centrotherm erfährt die Kupfer-PV derzeit einen kräftigen Schub. Weltweit bereiten CIS-Produzenten die Serienproduktion vor oder wollen diese rasch ausbauen. Damit beginnt die Aufholjagd auf die Dünnschichtkonkurrenz, Module aus amorphem Silizium und Cadmium-Tellurid (CdTe), deren Ausbau schon länger boomt. Den ehrgeizigsten Wachstumsplan unter den CIS-Spezialisten verfolgt die japanische Firma Showa Shell: Sie hat jüngst die Erweiterung ihrer Kapazität von

80 MW auf ein Gigawatt (GW) bis 2011 angekündigt. Beim Ausbau zurückhalten, aber zahlenmäßig wie technisch überlegen sind die deutschen Hersteller: Neun der 15 größten CIS-Produzenten stammen laut PV-Berater Accelios Solar aus Deutschland oder nutzen deutsche Expertise und Herstellertechnik (siehe Tabelle). Auch beim Wirkungsgrad liegt mit der Q-Cells-Tochter Solibro eine deutsche Firma vorn: Ihr Paneel erreicht 12,3 Prozent Effizienz, mehr als jedes andere in Serie gefertigte CIS-Modul.

Noch sind die Kupferspieler mit einer Jahresweltproduktion von knapp 300 MW keine relevante Größe auf dem PV-Markt – allein die US-Firma First Solar setzte 2009 mit einem GW mehr als die dreifache Leistung ab. Doch sehen Experten große Wachstumschancen für die Technik. „CIS-Module versprechen höhere Wirkungsgrade als die anderen Dünnschichttechniken, lassen sich aber theoretisch ebenso günstig fertigen“, sagt Michael Powalla vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Stuttgart. Den Effizienzbeleg hat das ZSW selbst erbracht: Es erreichte mit CIS-Zellen in einer vorindustriellen Linie 19,6 Prozent Wirkungsgrad. Zum Vergleich: Das CdTe-Effizienzpotenzial beträgt 16, das des Dünnschichtsiliziums sogar nur 13 Prozent (siehe Tabelle). Seinen großen Photonenhunger zeigt CIS bereits in der Praxis. Frühe Solibro-Module wandeln durchschnittlich zwölf, technisch weiter gediehene First-Solar-Paneele dage-

gen nur 10,8 Prozent des Lichts in Strom um. Matthias von Armansperg von Accelios Solar ist deshalb überzeugt: „Wenn man bei CdTe-Modulen in einigen Jahren an die Leistungsgrenze stößt, dürfte die Nachfolgetechnik im Dünnschichtbereich unter den CIS/CIGS-Technologien angesiedelt sein.“

Vor dem Freiland winkt die Gebäudeintegration. CIS ist dafür bekannt, dass es auch bei Schwachlicht und Teilverschattung effizient arbeitet. Außerdem kann die Technik leichter als stromerzeugende Fassaden und Fenster in Gebäude integriert werden als Siliziummodule. Die in Berlin produzierende US-Firma Global Solar Energy oder Odersun aus Frankfurt/Oder können, da sie flexible Träger verwenden, bereits leichte und besonders geformte Paneele anbieten.

Nur noch 0,70 Euro pro Watt

Die Kupfer-orientierte deutsche Solarindustrie darf demnach auf eine erfolgreiche Zukunft hoffen, obwohl ihr die preisaggressive chinesische Konkurrenz beim kristallinen Silizium – ihrer eigentlichen Domäne – immer mehr Marktanteile abnimmt (neue energie 11/2009). Doch der Weg zum großen CIS-Geschäft ist weit. Hauptproblem: CIS-Module bestehen mindestens aus drei Elementen. Das macht die Fertigung komplexer als bei anderen Zellentypen, verzögert die Massenproduktion und erschwert Kostenreduktionen. CIS liege in der Produktion noch bei durchschnittlich rund ▶

Kleine Begriffslehre: CIS & Co.

Dünnschichtmodule mit Kupferverbindungen werden mit **CIS**, **CIGS** oder **CIGSSe** bezeichnet. Die Kürzel stehen für halbleitende Verbindungen aus Kupfer, Indium, eventuell Gallium und wahlweise Schwefel oder Selen.

Weitere Dünnschichttechniken sind amorphes Silizium (**a-Si**), mikromorphes Silizium (**mikro-Si**) oder Cadmium-Tellurid (**CdTe**).

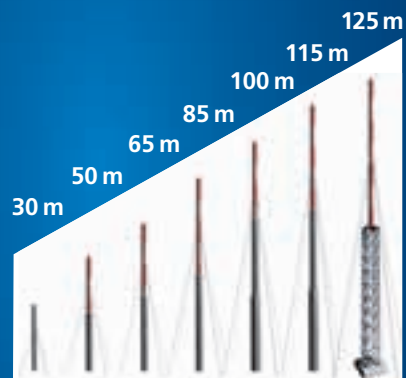
Die größten CIS-Hersteller: Deutsche Firmen in Lauerstellung

Firma (Land)	Technik	Kapazität 2009 (MW)	Produktion 2009 (MW)	erwartete Kapazität 2010/2011 (MW)
Showa Shell Solar (J)	CIS	80	50	150
Global Solar Energy (USA)	CIGS auf Folie	75	50	75
Solyndra (USA)	CIGS	60	45	360
Solibro (D)	CIGS	50	40	135
Sulfurcell (D)	CIS	35	2	75
Würth Solar (D)	CIS	30	30	40
Johanna Solar (D)	CIGSSe	30	15	30
Ascent Solar (USA)	CIGS	30	2	30
NN (TW)	CIGS	30	5	50
Honda Soltec (J)	CIGS	27	25	27
Scheuten Solar (NL)	CIS	25	10	50
Avancis (D)	CIS	20	15	60
Odersun (D)	CIS	20	5	30
Nanosolar (USA)	CIGS auf Folie	10	3	30
Illies Renewables (D)	CIGS	-	-	50

Quellen: Accelios Solar

WINDMESSMASTEN
STANDARDHÖHEN BIS 115 M
SONDERKONSTRUKTIONEN

Messen Sie auf Nabenhöhe!



Referenzen in ganz Europa



„Für den flexiblen, schnellen Aufbau haben wir Masten entwickelt, die Sie ganz nach oben bringen – einfach und an beinahe jedem Ort.“

Willm Ihnen

Stahl- und Metallbau Ihnen GmbH & Co oHG
Borsigstraße 3 · D -26607
Aurich www.ihnen-aurich.de



Tel.+49(0)4941-1795-0
www.windmessmast.de

WINDMESSMASTEN FÜR JEDE HÖHE

Erneuerbare / Solar

CIS: Viel Luft für Verbesserungen

Wirkungsgrade und Produktionskosten verschiedener PV-Techniken im Vergleich

Technik	Labor ¹⁾	Produktion ¹⁾	Kosten ²⁾	Erwartete Kosten ²⁾
kristallin				
Monokristallines Silizium	24	13-15	1,80	<0,5
Multikristallines Silizium	20	11-13	1,30-1,80	<0,5
Dünnschicht				
CIS/CIGS/CIGSSe	20	10-12	1,80	<0,3
CdTe	16	6-10	0,60	<0,3
a-Si/mikro-Si	13	5-8	1	<0,3

¹⁾ Wirkungsgrad in Prozent ²⁾ in Euro pro Watt

Quelle: Accelios Solar

1,20 Euro pro Watt, sagt EU-Solarexperte Arnulf Jäger-Waldau. Kostenführer First Solar fertigt dagegen bereits für knapp die Hälfte.

Um mithalten zu können, arbeiten die CIS-Entwickler nun mit Hochdruck an höheren Effizienzen sowie besseren und höhervolumigen Produktionen. Centrotherm ist First Solar offenbar schon dicht auf den Fersen: Für die 50-MW-Linie nennt Dünnschichtchef Gross Fertigungskosten von einem Euro pro Watt und garantiert für die 1,5 Quadratmeter großen Module 9,2 Prozent Wirkungsgrad. In einer größeren und optimierten 100-MW-Linie sollen 2012 dann Kosten von 0,70 bis 0,75 Euro pro Watt und zwölf Prozent Effizienz erreicht werden.

Schlüssel zu hoher Kosteneffizienz ist laut Gross Centrotherms ein zweistufiger Prozess zur Erzeugung des CIGS-Absorbers. In einem ersten Schritt werden die metallischen Schichten auf Glas gesputtert. Dabei schlagen Gasteilchen die benötigten Elemente aus Festkörpern, die sich dann auf dem Träger absetzen. Die kristalline Verbindung bildet sich anschließend durch schnelle Erhitzung in einer Selenatmosphäre. „Das dauert nur 60 bis 75 Sekunden“, sagt Gross. Zum Vergleich: Beim alternativen Koevaporationsprozess, bei dem alle Elemente gleichzeitig in einem Schritt aufgedampft werden, liegt die Taktzeit pro Modul bei bis zu mehreren Stunden.

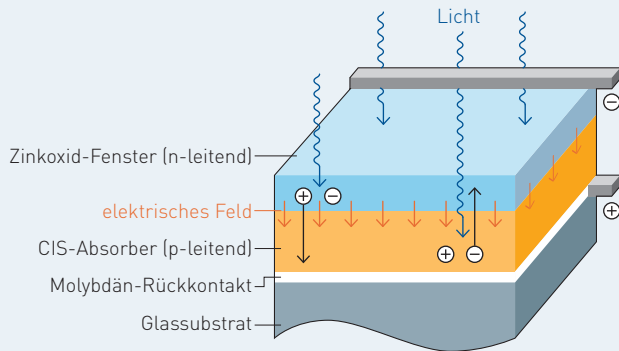
Die drei ostdeutschen Firmen Avancis, Johanna Solar und Sulfurcell arbeiten eben-

falls mit sequenziellen Verfahren zur Halbleitererzeugung – bisher allerdings mit unterschiedlichem Erfolg: Zwar nutzt Johanna in seiner Brandenburger 30-MW-Fabrik alle fünf für CIS zur Verfügung stehenden Elemente, wovon sich das Unternehmen mittel- bis langfristig Wirkungsgrade von mindestens 14 Prozent verspricht. Aktuell schaffen die 0,5 mal 1,20 Meter großen Module allerdings nur bis zu 9,3 Prozent Effizienz. Avancis-Paneele aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid wandeln mit bis zu elf Prozent bereits mehr Licht in Strom um. Um die Effizienz weiter zu steigern, will die Firma unter anderem die Pufferschicht aus Cadmiumsulfid (CdS), die CIS-Absorber und Frontkontakt voneinander trennt, durch einen lichtdurchlässigeren Stoff ersetzen (siehe Kasten). Die Funktion des Puffers ist bis heute nicht ganz geklärt. Man weiß nur, dass er wichtig für den Wirkungsgrad ist. Bei der Suche nach CdS-Alternativen ist Avancis schon sehr erfolgreich: In Zusammenarbeit mit dem Berliner Helmholtz-Zentrum fertigten die Spezialisten Kleinmodule mit einem zinkbasierten Puffer mit 13,2 Prozent Effizienz, Laborzellen auf Indiumbasis kamen sogar auf 14,7 Prozent. Innovationen und die Verdreifachung der Herstellkapazität auf 60 MW bis 2010/2011 sollen nennenswerte Kostensenkungen bringen.

Sulfurcell mit neuer Rezeptur

Sulfurcell erscheint im Wirkungsgradrennen dagegen etwas abgeschlagen (neue

Struktur und Funktionsweise einer CIS-Zelle



Quelle: Würth Solar

energie 12/2009). Obwohl die Berliner Firma seit nunmehr neun Jahren an CIS-Modulen aus Kupfer-Indium-Sulfid arbeitet, erreichen diese bisher nur acht Prozent Effizienz. Doch für die kommenden Jahre prophezeit Chef Nikolaus Meyer: Die Kapazität werde 2011 auf 75 MW und in zwei bis drei Jahren auf mehrere 100 MW angewachsen sein, die Effizienz gleichzeitig auf 13 Prozent steigen. Dafür will Sulfurcell seine Halbleiterrezeptur verändern. Der reaktionsfreudiger Schwefel soll durch lichtungsrigeres Selen ersetzt und dem CIS außerdem noch Gallium hinzugefügt werden. Das klingt nach einem umfassenden Eingriff, der erneut viel Entwicklungszeit benötigt. Das sei aber nicht so, betont Meyer: „Der Schwefelersatz betrifft nur einen von 15 etablierten Prozessschritten.“ Sulfurcell werde die Produktion daher zeitnah umstellen.

Hinter dem Umbau steht die Überlegung, dass durch eine Veränderung des Mischungsverhältnisses der Elemente die Zelle optimal an das Sonnenlicht angepasst wird. Einer der Schlüsselbegriffe heißt in diesem Kontext Bandlücke. Sie bestimmt das Absorptionsverhalten des Halbleiters. Ist sie zu hoch, schluckt dieser nur energiereiche Lichtteilchen, nutzt das Lichtspektrum also unzureichend. Ist sie zu niedrig, verpufft ein großer Teil des energiereichen blauen Lichts als Wärme. Optimal ist deshalb eine Bandlücke, die möglichst viel Energie aus Licht herausholt. Theoretisch arbeiten Halbleiter bei einem Wert von 1,4 Elektronenvolt am

effizientesten. Ihm will sich Sulfurcell mit seiner neuen Mischung nun annähern.

Bei Würth Solar steht das Materialsystem indes. Die 30-MW-Linie der Firma dampft Kupfer, Indium, Gallium und Selen gemeinsam bei hohen Temperaturen auf Glas auf und stellt so Module mit im Mittel zwölf Prozent Effizienz her. Gleichwohl sieht Entwicklungschef Bernhard Dimmler noch Optimierungspotenzial: „Wir können im Schnitt 14 Prozent erreichen.“ So ließe sich zum Beispiel die Halbleiterqualität weiter verbessern oder der Puffer austauschen. Auch die Schwaben haben unter anderem das Indiumoxyd des Helmholz-Zentrums erfolgreich getestet: Ihre Zellen erreichen damit im Labor 14,4 Prozent Effizienz. Über eine industrielle Umsetzung der Innovation hat Würth indessen nicht entschieden. „Wir diskutieren derzeit, welchen Weg der Weiterentwicklung und Skalierung wir in Zukunft gehen, und wie wir unsere Produktion für höhere Wirkungsgrade qualifizieren werden“, erklärt Dimmler.

Fehlender Drang zur Masse

Die Entscheidung ist in der Tat nicht einfach: Effizienzsteigerungen sind der wichtigste Hebel für Kostensenkungen. Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad reduziert, so die Faustregel, die Fertigungskosten um fünf bis zehn Prozent. Das spricht klar für Weiterforschen. Andererseits drückt die Konkurrenz bei der Expansion kräftig auf die Tube und könnte Würth kapazitätsmäßig abhängen. Um neue Prozesse zu

Das kesselt



Neue Pelletkessel: TDA und CKA

Unser leistungsfähiges Doppel überzeugt durch innovative Technik und **professionelle Verarbeitung**. Der TDA lässt sich sowohl mit Scheitholz als auch mit Pellets beheizen – und das bei **höchsten Wirkungsgraden**. Die Niedrigenergie-Pelletheizung CKA ist speziell für Einfamilienhäuser konzipiert. Mehr Infos: www.as-solar.com/pelletkessel.html

AS Solar

Sonne weitergedacht.

AS Solar GmbH, Fachgroßhandel für Solartechnik
 Am Tönniesberg 4A Tel.: +49 511 475578-0
 D-30453 Hannover Fax: +49 511 475578-11
www.as-solar.com info@as-solar.com





Wie ein CIS-Modul entsteht

Eine Methode, Solartechnik preiswerter zu machen, bietet der Ersatz kristalliner Siliziumscheiben durch 100-mal dünnere photoaktive Schichten aus Kupfer, Indium, eventuell Gallium sowie Selen und/oder Schwefel (CIS). Statt Silizium in vielen Schritten zu Zellen zu verarbeiten, werden CIS-Zellen direkt auf einem Träger, meist Glas, produziert. Darauf sputtern die Ingenieure zunächst Molybdän, das als Rückkontakt dient. Bei der Sputterdeposition wird in einer Vakuumkammer ein Molybdän-Festkörper mit Ionen beschossen. Diese reißen Atome aus dem Metall, die sich auf dem Träger absetzen. Der Absorber wird anschließend per Ko-Verdampfung, bei der in Beschichtungsanlagen alle CIS-Elemente gleichzeitig thermisch verdampfen, oder mittels sequentielltem Verfahren hergestellt. Dabei wird das CIS zunächst durch Sputtern, Druck- oder Galvanikprozesse als Vorläuferschicht aufgebracht und dann unter einer Atmosphäre aus Selen, Selen- oder Schwefelwasserstoff fertiggebacken. Der Absorber kristallisiert sich also erst bei Behandlung mit einer erhöhten Temperatur heraus.

Das CIS ist positiv leitfähig. Damit die Zelle Strom generiert, fehlt noch ein negativ leitender Gegenpart. Bei Siliziumzellen spicken die Ingenieure den Kristall mit Phosphor, erzeugen so die Elektronen sammelnde Emitterschicht. Bei CIS-Zellen fungiert Cadmiumsulfid (CdS) in Verbindung mit Zinkoxid (ZnO) als n-Leiter. Die ZnO-Schicht, die gesputtert wird, bezeichnen Experten auch als transparent leitfähiges Oxid oder Fenster, da es lichtdurchlässig ist und zugleich als Frontkontakt dient. Das im chemischen Bad abgeschiedene CdS passt den CIS-Absorber an die ZnO-Schicht an und reduziert elektrische Verluste. Trotzdem schmälern Ladungsträgerverluste an den Defekten der CIS-Zelle den Wirkungsgrad immer noch deutlich. Um ihn zu steigern, entwickelt die Industrie effizientere CIS-Kombinationen und neue Puffer, die mehr Licht zum CIS durchlassen.

qualifizieren und Maschinen auf diese zu trimmen, so Dimmler, müsse Würth seine halbe Produktion für sechs bis zwölf Monate in eine Pilotlinie zurückverwandeln; dann könnte die Firma nur noch 15 MW herstellen. Solibro, das einen vergleichbaren Herstellprozess fährt, will seine Kapazität 2010/2011 bereits auf 135 MW aus-

bauen und die Kosten durch die sich daraus ergebenden Skaleneffekte auf 0,78 Euro pro Watt reduzieren. Und das ist ein vergleichsweise bescheidenes Ziel: Showa Shell will 2011 bei einer Kapazität von einem GW bereits ebenso günstig produzieren wie First Solar. Das hat auch der kalifornische Newcomer Solyndra vor, der seine Kapa-

zität am Standort Fremont mit finanzieller Hilfe des US-Energieministeriums derzeit auf 500 MW aufstockt. Die Firma baut röhrenförmige Module, die dank einer 360 Grad umfassenden Oberfläche besonders viel Licht einfangen sollen. Auch Nanosolar will endlich im Konzert der großen CIS-Hersteller mitspielen. Mit zwei Jahren Verzögerung nahm das US-Unternehmen im Herbst 2009 seine 640-MW-Modulfabrik in Luckenwalde bei Berlin in Betrieb. Dort sollen künftig im großen Stil Zellen verarbeitet werden, bei denen auf Aluminiumfolie gedruckte Nanopartikel Strom generieren. Da bei der Technik auf teure Materialien und Prozesse verzichtet werde, ließen sich die Herstellkosten unter First Solar-Niveau drücken, sagt Nanosolar-Deutschlandchef Erik Oldekop.

Freilich sind all dies nur Ankündigungen, und es ist nicht sicher, dass die großen Pläne auch umgesetzt werden. Trotzdem sollte die deutsche Solarindustrie gewarnt sein: Gelingt es ihr nicht, ihre CIS-Innovationen schnell in die Massenfertigung zu überführen und so ihre technische Überlegenheit auszuspielen, könnte sie ihre gute Position bei den Kupfermodulen an die internationale Konkurrenz verlieren. Wenn Showa Shell oder Nanosolar je ein Gigawatt produzieren, Würth & Co aber nur je einige Dutzend Megawatt, werden die Deutschen bei den Kosten nicht mithalten können.

Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich derzeit auf dem kristallinen Solarmarkt: Chinesische Hersteller bauen gewaltige Werke, sättigen die Märkte mit billigen Siliziummodulen, verdrängen so die europäischen Produzenten immer mehr aus dem Wettbewerb (neue energie 11/2009). „Die Mengen an Venture Capital, die Firmen zur Verfügung gestellt werden, sind hierzulande im Vergleich zu anderen Ländern begrenzt“, nennt von Armansepp einen Grund für den bisher fehlenden deutschen Drang zur Masse. Ein weiterer: Das Hochskalieren von CIS-Produktionen ist keine leichte Übung. Noch fertigen die Firmen weitgehend mit prototypischen Anlagen, Standards, wie sie Applied Materials oder Oerlikon mit ihren Maschinen beim Dünnschichtsilizium gesetzt haben, und die eine Massenproduktion begünstigen, fehlen beim CIS. Schließlich liegt es aber wohl auch an der deutschen Mentalität: Bevor investiert wird, überlegen und perfektionieren die Anbieter lieber. Turnkey-Anbieter Centrotherm kann die Bedenken überhören: Als global agierender Zulieferer ist es ihm egal, wer seine Linien kauft. ◀