



System für Flachdächer, die mit Kies bedeckt sind. Modul Flexcell FLX-M0 135 auf Stahlplatte.

## Solarzellen in der Übersicht

Die Sonne deckt in einer Stunde den Energiebedarf der Weltbevölkerung für ein ganzes Jahr. Die Herausforderung liegt darin, mit einem Halbleiter, der unter Licht Elektrizität erzeugt, die Photonen einzufangen. Dazu gibt es verschiedene Technologien, die alle ihre Vor- und Nachteile haben.

Die erprobteste Technologie, um Sonnenlicht in elektrischen Strom umzuwandeln, sind kristalline Siliziumzellen. Sie haben weltweit einen Marktanteil von 88 % (2008). Mit einer Moduleffizienz von 12 bis 19 % funktionieren sie zuverlässig mehr als 25 Jahre lang in Sturm und Hagel, werfen keine Ressourcenprobleme auf und sind in Massen produzierbar. Ihre Energie-Rücklaufzeit liegt in der Schweiz bei drei Jahren, was heisst, die für die Produktion nötige Energie ist innert drei Jahren wieder eingespielt. Aber es braucht relativ «dicke» Wafer (Siliziumscheiben von 180 bis 200  $\mu\text{m}$ ), was die Kosten erhöht. Immer wieder für Schlagzeilen sorgt Professor Michael Grätzel

mit seiner Farbstoffzelle, der Dye Sensitized Cell (DSC). Sie ahmt den natürlichen Prozess der Photosynthese grüner Pflanzen nach. In dieser photoelektrochemischen Zelle fangen Farbstoffmoleküle Quanten von Sonnenlicht ein und übertragen Elektronen auf ein Netz von Nanopartikeln aus Halbleiteroxiden, was elektrische Energie generiert. Die «Grätzel-Zelle» ist gemäss ihrem Erfinder ideal für schwache Lichtverhältnisse. Eine in Wales entstehende Solarfabrik von mehreren Megawatt Leistung vermarktet die ersten Module für «Consumer Applications». Mit 41,1 % einen der derzeit besten Wirkungsgrade erzielen Solarzellen aus III-V Halbleiter-

kombinationen, wie sie das Fraunhofer ISE erprobt. Der technologische Durchbruch gelang durch die Kontrolle von Kristalldefekten in Halbleitern, die ein metamorphes Kristallwachstum erlaubt. Verwendung finden diese Zellen in komplexen photovoltaischen Konzentratorsystemen. Das durch aufwendiges Nachführen (Tracking) eingefangene und gebündelte Sonnenlicht wird auf die Zellen fokussiert und mit optischen Systemen bis zu 1000-fach verstärkt. Dieser Typ eignet sich besonders für Solarwerke in Regionen mit direktem Sonnenlicht, wie Südeuropa, die Sahara und Wüstengebiete in den USA. Entsprechend ist der Markt noch sehr klein.

### Zukunftsmusik Dünnschichttechnik

Besonders attraktiv erscheinen Dünnschichtzellen. Sie weisen geringe Materialkosten auf und haben eine Energie-Rücklaufzeit von ein bis zwei Jahren. Verlockend ist, dass sich mit dieser Technologie Schichten direkt auf grosse, billige und flexible Substrate abscheiden lassen und dies zu wirtschaftlichen Bedingungen. Da die einzelnen Zellen – wie auch bei kristallinen Zellen – nur eine Spannung von 0,6 bis 1,4 V entwickeln, werden durch Laser-Strukturierung mehrere Solarzellen elektrisch in Reihe geschaltet. So entsteht ein Modul höherer Betriebsspannung. Aber noch erreicht ihr Wirkungsgrad nicht jenen ihrer kristallinen Gegenstücke. Zu den Herausforderungen der Dünnschichttechnologien zählen die Prozesssteuerung für die grossflächige Abscheidung, grösstmögliche Homogenität sowie die monolithische Verschaltung und das Vermeiden von «shunting», einem lokalen Kurzschluss. Hunderte von Unternehmen wittern rund um den Erdball ein lukratives Geschäft und investieren in diese Technologie.

Für die Herstellung bedienen sie sich verschiedener Halbleitermaterialien. Ein Beispiel dafür ist die CdTe-Zelle (Cadmium-Tellurid) von First Solar. Sie bietet gute Lichtabsorption, sowohl bei diffusen Wetterbedingungen wie auch bei direktem Sonnenlicht. Die Zellen benötigen nur 1 bis 2 % des Halbleitermaterials herkömmlicher kristalliner Module, sind in Masse kostengünstig herstellbar und weisen die derzeit beste Energie-Rücklaufzeit auf. CIS (Kupfer-Indium-Diselenid) gehört wegen seiner Kristallstruktur zu den Chalkopyriten. CIS ist chemisch stabil, photoelektrisch aktiv und absorbiert auftreffendes Sonnenlicht sehr stark. Einige der besten Module fertigt die Würth Solar. Zellen aus CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid) sind die Spezialität von Professor Ayodhya N. Tiwari an der Empa. Diese dünnen, flexiblen und extrem



Elisbeth Heinzelmänn

Ladung von Glassubstraten in einen halbindustriellen Abscheidungsreaktor am IMT/EPFL zur Entwicklung von Dünnschicht-Zellen aus mikrokristallinem Silizium.

leichten Zellen auf Plastikfolie lassen sich mit wenig Energie- und Materialbedarf preiswert fabrizieren. Die Fertigung im Roll-to-roll-Verfahren garantiert eine rasche und kontinuierliche Beschichtung der flexiblen Folien mit reinen, ultradünnen Schichten im Vakuumprozess. Mit einem Wirkungsgrad von 16% halten sie momentan (01/10) den Weltrekord. Zur Umsetzung im Markt entstand anfangs 2009 auf dem Areal der Empa in Dübendorf die Flisom AG.

#### Ein cleveres Tandem

1996 läutete am Institut de Microtechnique (IMT) in Neuchâtel die Geburtsstunde für die mikromorphe Dünnschicht-Solarzelle. Sie verknüpft mikrokristallines mit amorphem Silizium in einer Tandem-Zelle. Das amorphe Silizium setzt kurzwelliges grünes und blaues Licht des Sonnenspektrums in elektrische Energie um, während mikrokristallines Silizium den langwelligen roten und infraroten Anteil umsetzt. Damit steigt der Wirkungsgrad auf rund 11%. Die Tandem-Zellen benö-

tigen 200-Mal weniger Silizium als ihre kristallinen Kollegen und haben eine Energie-Rücklaufzeit von ungefähr ein bis zwei Jahren in der Schweiz. Im Hinblick auf die industrielle Fertigung entwickelten die IMT-Forscher einen Hochfrequenz-Plasmaprozess und beschleunigten so die Abscheidung der Siliziumschichten. Die Technologie wurde von Oerlikon Solar zur Marktreife weiterentwickelt. Die VHF-Technologies SA übernahm die PE-CVD-Technik (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition), um unter der Bezeichnung Flexcell dünne Solarzellen aus amorphem Silizium in einem kontinuierlichen Prozess direkt auf Plastikfolien abzuscheiden. Die Firma ist zurzeit die einzige in Europa, welche flexible Solarzellen (siehe Bild) erfolgreich zur Marktreife brachte.

Als Pioniere in Solarzellentechnologie tüfteln nun die Forscher um Professor Christophe Ballif, Leiter des Photovoltaik-Labors am IMT/EPFL, an der übernächsten Solarzellengeneration. Diese so genannten Heteroverbindungs-Solarzellen (a-Si/c-Si)

basieren auf einem einfachen Niedertemperatur-Herstellkonzept. Sie zeichnen sich durch ausgezeichnete Passivierung aus, was zu hohen Wirkungsgraden sowie einem ausgezeichnetem Temperaturverhalten führt. Dafür spannt das IMT-Team zusammen mit der Firma Roth & Rau, einem Anbieter vollautomatischer Solarzellenfertigung. Die Kooperationspartner installieren am IMT eine Forschungslinie, um Technologien und Prozesse für die Herstellung hoch effizienter kristalliner Solarzellen in Hetero-Junction-Technologie zu entwickeln. Die Massenproduktion soll 2011 starten. Erste Prototypen erzielen auf einer Fläche von 2x2 cm<sup>2</sup> einen Wirkungsgrad von 19%.

#### Engagement und Investitionen

Innovatives geschieht derzeit auf den Dächern des EPFL-Campus: Hier entsteht die grösste Photovoltaik-Anlage der Schweiz. Sie soll ab 2011 jährlich zwei Millionen Kilowattstunden produzieren. Damit verbunden ist die Errichtung eines IMT/EPFL-Kompetenzzentrums mit

internationaler Ausstrahlung. Auf die Frage, welche Technologie sich durchsetzen wird, antwortet IMT-Chef Christophe Ballif: «Vermutlich wird es nie eine einzelne Technologie geben, die den Markt vollständig beherrscht. Wir müssen verschiedene Wege verfolgen und je nach Anwendung und geographischem Standort die geeignete Technologie einsetzen.» In einem sind sich alle Forscher einig: Es gilt, den Materialbedarf zu reduzieren, Qualität und Wirkungsgrad zu steigern und die Herstellkosten zu senken. «Diese Reduktion ist verbunden mit der Schaffung eines Endverbrauchermarktes», so Ballif. «Eine engagierte Energiepolitik, das Schaffen und Unterstützen eines PV-Marktes bis dieser wettbewerbsfähige Elektrizitätsverkaufspreise bietet, sollte nun eine Priorität für alle Nationen werden.»

Dass dieses Engagement auch lukratives Business bedeuten kann, davon ist Stefan Nowak, Programmleiter Photovoltaik des Bundesamtes für Energie, überzeugt: «Mit einer weitsichtigen Investition in Forschung und Umsetzung kann das Potenzial der Photovoltaik auch für die Schweiz grossen Nutzen bringen.»

Elisbeth Heinzelmänn  
Journalistin Technik  
und Wissenschaft

#### zudem

##### KTI fördert Photovoltaik

In Ergänzung zum Bundesamt für Energie (BFE) engagiert sich die Förderagentur für Innovation KTI seit Jahren im Bereich Solarenergie nach der «bottom-up»-Initiative von Privatwirtschaft und Hochschulen. Ein Vertreter des BFE gehört zum Expertenteam, das die Gesuche nach fachlichem und wirtschaftlichem Potenzial evaluiert. Die von der KTI unterstützten innovativen Projekte der Solartechnik und der Photovoltaik trugen massgebend zum heutigen Stand der Technik in der Schweiz bei.