

## Solarzellen

# Wettlauf um den Wirkungsgrad

Die Effizienz von Solarzellen ist noch längst nicht ausgereizt. Forscher kämpfen an vielen Fronten um jeden Prozentpunkt.

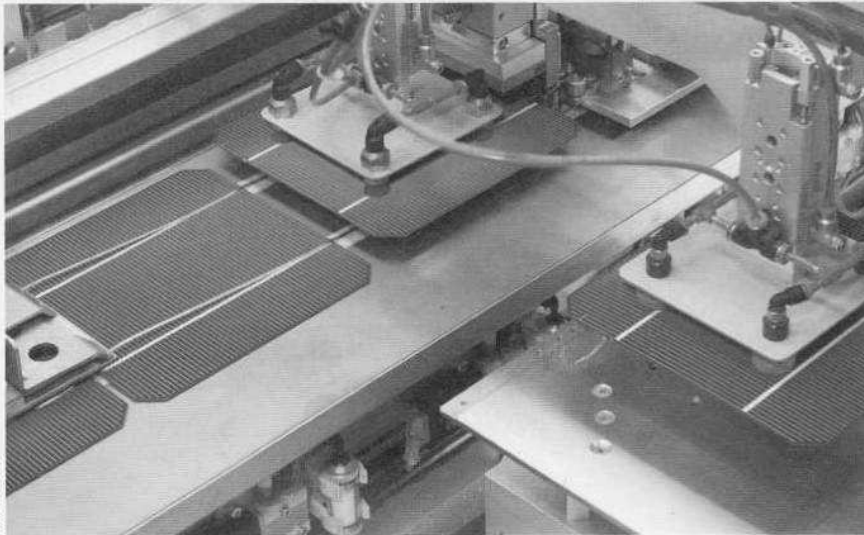


Bild: Jan Oetker

Ganz beiläufig verkündete Ulrich Stiebel Ende letzten Jahres ein unbescheidenes Vorhaben: Sein Unternehmen Stiebel Eltron, bisher bekannt als Hersteller von Heizungstechnik, steigt in das Photovoltaikgeschäft ein – und strebt als Newcomer gleich einen Platz in der Weltspitze an. Mit einer neu entwickelten Solarzelle will Stiebel einen Wirkungsgrad von 20 Prozent erreichen; derzeit verfügbare Standardzellen kommen auf 15 bis 17,5 Prozent.

Damit beteiligt sich der niedersächsische Mittelständler an einem Wettlauf, bei dem Weltkonzerne schon vorgelegt haben: Sanyo und die US-Firma SunPower produzieren bereits Zellen mit über 20 Prozent Wirkungsgrad und kommen damit dem Labor-Weltrekord von 24,7 Prozent, der von der University of New South Wales in Sydney gehalten wird, recht nahe.

Der Wirkungsgrad beeinflusst die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere Faktor bei der Herstellung, einschliess-

lich der Skaleneffekte durch eine größere Produktionsmenge: Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt, so die Faustregel, die Kosten um rund fünf Prozent, da pro Watt weniger Material benötigt wird.

### Lasern statt drucken

Allerdings lässt sich nicht alles, was im Labor mit einem hohen Wirkungsgrad glänzt, in der Massenfertigung mit vertretbarem Aufwand realisieren. Auch hinter den Rise-Zellen (Rear Interdigitated Single Evaporation), die Stiebel Eltron herstellen will, standen zunächst Fragezeichen.

Bei der vom Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) entwickelten Technologie befinden sich die Stromanschlüsse auf der Rückseite, sodass die Front nicht von Kontakten verschattet wird. Dadurch wird die Zelle effizienter, aber auch schwieriger produzierbar. Das ISFH hat jedoch nach eigenen Angaben einen industrietauglichen

Herstellprozess gefunden: «Wir benutzen Laser zum berührungslosen Strukturieren der Rückseite. Beide Kontakte werden durch Aufdampfen in einem einzigen Metallisierungsschritt hergestellt», erklärt Jan Schmidt, Gruppenleiter Photovoltaik-Materialien am ISFH. Dank Lasereinsatz kommen die Rise-Zellen zudem mit dünneren und damit preiswerteren Wafern aus. In der Regel werden die Kontakte heute meist aufgedruckt, weshalb dickere Wafer verwendet werden müssen.

### Stromerzeugende Fassade

Noch effizienter als Hochleistungszellen aus kristallinem Silizium sind lichtbündelnde Systeme. Dabei konzentrieren integrierte Spiegel oder Linsen Licht auf eine winzige Zelle. Die effizientesten unter ihnen erreichen Wirkungsgrade von bis zu 40 Prozent. «An guten Standorten können Konzentratorsysteme schon heute kostengünstiger Strom erzeugen als herkömmliche Flachmodule», sagt Andreas Bett, Leiter der Abteilung Solarzellen am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg. Allerdings müssen Konzentrator-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht.

Auch am unteren Ende der Preislise bei der Dünnschichttechnologie herrscht reger Wettbewerb. Das grösste Wirkungsgradpotenzial wird CIS-Zellen (siehe Glossar) zugesprochen. Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit eine Effizienz von 19,8 Prozent. Allerdings sind industriell gefertigte Zellen hiervon noch weit entfernt, und bei den Produktionskosten haben sie sich noch nicht von der konventionellen Konkurrenz abgesetzt. «Für CIS existieren einfach noch zu kleine Produktionseinheiten. Erst wenn die Massenproduktion läuft, werden die Kosten sinken», sagt Hansjörg Gabler, bis vor Kurzem Leiter Photovoltaik im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung. Langfristig sehen die Experten aber alle drei Dünnschichttechnologien – dazu

zählen neben CIS- auch Cadmiumtellurid- und Dünnschichtsilizium-Zellen – bei Effizienzen weit über zehn Prozent.

#### **Strom aus Farbstofffolien**

Organische Nanozellen könnten in Zukunft ebenfalls eine Option für die Photovoltaik sein. Dabei wandelt ein Gemisch aus Titandioxid-Nanopartikeln und Farbstoffmolekülen – winzige Bällchen einer Ruthenium-Verbindung – ähnlich wie bei der Photosynthese Licht in Strom um. Die hauchdünnen

#### **«Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt, so die Faustregel, die Kosten um rund fünf Prozent»**

Lichtsammler versprechen Produktionskosten, die weit unter denen konventioneller Solarmodule liegen. Ihre Schwäche ist jedoch, dass sie schnell an Leistung verlieren, weil der ladungsträgerleitende Flüssigkeitsfilm bei intensiver Sonnenbestrahlung eintrocknet. Um die Massenfertigung zu rechtfertigen, müssen länger haltbare Flüssigkeiten gefunden werden.

Trotz des grossen Entwicklungspotenzials von Dünnschicht & Co. glaubt Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Entwicklung von Siliziumsolarzellen am Fraunhofer ISE, an die Zukunft der Silizium-Wafer-Technologie, da ihre Langzeitstabilität ausser Frage stehe und sich ihre Effizienz bereits mit geringem Aufwand verbessern lasse. Wirkungsgradsteigerungen von einem Prozent sind etwa zu erreichen, indem Antireflexionsschichten mehr Strahlung nutzbar machen und Passivierschichten der Rekombination (siehe Glossar) entgegenwirken. Auch neue Methoden zur Herstellung von Zellenkontakten helfen weiter. Heute werden Frontkontakte meist durch Siebdruck von Metallpasten produziert. Die so hergestellten breiten Kontaktfinger behindern den Lichteinfall und haben hohe Widerstände. Zudem treten beim Druck grosse Kräfte auf, dem nur dickere Zellen trotzen können.

#### **Wunderstoff in der Produktion**

Das Fraunhofer ISE entwickelt deshalb Metallisierungsprozesse, die ohne Siebdruck auskommen. «Wir setzen dabei auf die chemische Abscheidung von Metallen oder das kontaktlose Drucken von Metallaerosolen», sagt Glunz.

Weitere Effizienzgewinne verspricht monokristallines «n-Typ»-Silizium (siehe Glossar). Es hat bessere elektrische Eigenschaften als das derzeit meist verwendete «p-Typ»-Silizium. So überleben die Ladungsträger darin länger, was bei Rückkontaktzellen, in denen Elektronen und Elektronenlöcher weite Strecken zurücklegen müssen, unabdingbar ist. Fraunhofer ISE und ISFH suchen derzeit nach Wegen, um den schwer handhabbaren Wunderstoff in industrielle Prozesse einzubinden.

Eine Alternative dazu könnten sogenannte «Emitter Wrap Through»-Zellen (EWT) sein. Diese Rückkontaktzellen sind weniger effizient, aber günstiger herzustellen, denn sie bestehen aus unreinerem multikristallinem Silizium (siehe Glossar). Um die Ladungsträger trotz der strukturellen Defekte des Materials an der Rekombination zu hindern, wird der Emitter – die Schicht, die Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten leitet – durch viele lasergebohrte Löcher von der Front- auf die Rückseite geführt. Forscher sehen die wirtschaftlich erreichbare Effizienz von EWT-Zellen bei über 17 Prozent – die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren.

#### **Schlanke Kostensenker**

Die Photovoltaik sorgt wegen ihrer hohen Kosten immer wieder für Schlagzeilen. Mit neuen siliziumfreien Dünnschichtmodulen, so die Hoffnung, könnte die Lücke bereits in wenigen Jahren geschlossen werden. Zwar erreichen die schlanken Lichtsammler nicht so hohe Effizienzen wie kristalline Siliziummodule, weshalb sie für die gleiche Leistung mehr Fläche benötigen, dafür versprechen sie kurzfristig deutlich geringere Herstellkosten. Denn bei

dieser Technologie werden nur wenige Mikrometer dicke Schichten aus den Verbindungshalbleitern Cadmiumtellurid, CIS (siehe Glossar) oder Dünnschichtsilizium auf günstige Trägermaterialien wie Glas oder Plastikfolie aufgetragen. Konventionelle Module basieren dagegen auf mindestens 200 Mikrometer dicken Siliziumwafern, die energieaufwendig durch Zersägen von Siliziumblöcken hergestellt werden.

Text: Sascha Rentzing

#### **Solar-Glossar**

**CIS-Technologie:** CIS steht für Dünnschichtzellen aus Kupfer und Indium in Kombination mit Gallium, Selen oder Schwefel. Weitere Dünnschichttechnologien sind Zellen aus Cadmiumtellurid und Dünnschichtsilizium. Durchschnittlicher CIS-Wirkungsgrad: zehn Prozent (siehe S. 9).

**Monokristallines Silizium** wird aus einer hochreinen Siliziumschmelze gewonnen. Aus ihr werden einkristalline Stäbe gezogen, die dann in dünne Scheiben, in Wafer, geschnitten werden. Durchschnittlicher Wirkungsgrad: 17 Prozent.

**Multikristallines Silizium** ist weniger hochwertig als monokristallines Silizium. Es wird in Blöcke gegossen und in Scheiben geschnitten. Bei Abkühlung bilden sich unterschiedlich grosse Kristallstrukturen, an deren Kanten Defekte auftreten, die niedrigere Effizienzen zur Folge haben. Durchschnittlicher Wirkungsgrad: rund 14 Prozent.

**Rekombination** bezeichnet den Vorgang in der Solarzelle, bei dem sich negative Elektronen wieder mit positiven Elektronenlöchern vereinen, aus denen sie zuvor vom Licht herausgeschlagen wurden. Diese Ladungsträger gehen dabei für die Solarstrom-Erzeugung verloren. Passivierende Schichten, die auf die Zellenoberfläche aufgetragen werden, verringern die Rekombination.