

Wettlauf um den Wirkungsgrad

Die Effizienz von Solarzellen ist noch längst nicht ausgereizt. Forscher kämpfen an vielen Fronten um jeden Prozentpunkt – und müssen immer auch an die Kosten denken

VON SASCHA RENTZING

Ganz beiläufig verkündete Ulrich Stiebel Ende vergangenen Jahres ein unbescheidenes Vorhaben: Sein Unternehmen Stiebel Eltron, bisher vor allem bekannt als Hersteller von Heizungstechnik und Durchlauf-erhitzern, steigt in das Photovoltaik-Geschäft ein – und strebt als völliger 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 etwa produzieren bereits Zellen mit 21 Prozent Wirkungsgrad und kommen damit dem Labor-Weltrekord von 24,7 Prozent, der derzeit von der University of New South Wales in Sydney gehalten wird, ziemlich nahe.

Da die Sonne kostenlos vom Himmel strahlt, könnte einem Solaranlagenbetreiber der Wirkungsgrad seiner Module eigentlich ziemlich egal sein. Dennoch beeinflusst der Wirkungsgrad die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere einzelne Faktor bei der Herstellung, einschließlich der Skaleneffekte durch eine größere Produktionsmenge:

Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt, so die Unternehmensberatung Photon Consulting, die Kosten um 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. Vor diesem Problem stand auch Stiebel Eltron. Das Unternehmen setzt auf sogenannte Rise-Zellen (Rear Interdigitated Single Evaporation), bei denen sich die Stromanschlüsse auf der Rückseite befinden, sodass die Front nicht von Kontakten

geschützt zu vermeiden. Das erfordert viel Prozess-Know-how.

Hier kam das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), auf dessen 20-Jahr-Feier Stiebel den Photovoltaik-Einstieg bekannt gab, ins Spiel: Es hat nach eigenen Angaben einen industrietauglichen Fertigungsprozess dafür entwickelt. „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.

Auch Rekordhalter SunPower produziert Zellen, bei denen die Kontakte auf der Rückseite sind. Allerdings wird vermutet, dass das Unternehmen die Kontakte aufdruckt und daher mit relativ dicken Siliziumscheiben (Wafern) arbeiten muss – Auskünfte darüber erteilt es nicht. Die Rise-Zellen aus dem ISFH sollen dank Lasereinsatz mit dünneren und damit preiswerteren Wafern auskommen. Die ebenfalls rekordverdächtige Sanyo-Zelle wiederum besteht aus hochreinem monokristallinem Silizium, das von Schichten aus amorphem Silizium umgeben ist. Die beiden Materialien sind in verschiedenen Spektralbereichen empfindlich, sodass das Sonnenlicht besser ausgenutzt wird – um

Der Dünnschicht-Rekord liegt schon bei 19,8 Prozent

verschattet wird. Doch solche Zellen sind schwierig herzustellen: Bei ihnen liegt der Emitter – die Schicht, die Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten leitet – statt an der Vorder- an der Rückseite, also in unmittelbarer Nähe der Kontakte. Emitter und Kontakte müssen deshalb durch feine Grenzschichten voneinander getrennt werden, um Kurz-

Solar-Glossar

Amorphes Silizium

wird auf einen Träger, meistens auf Glas, aufgedampft. Die Atome scheiden sich dort nicht in einer Kristallstruktur ab, sondern ungeordnet (amorph). Das Material verfügt über ein hohes Absorptionsvermögen, wegen der vielen Kristalldefekte

wandelt es jedoch vergleichsweise wenig Sonnenlicht in Strom um. Durchschnittlicher Wirkungsgrad: 6 bis 8 Prozent.

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



Labor als Sonnenstudio: Am Fraunhofer-Institut ISE wird untersucht, wie Solarzellen auf unterschiedliche Licht-Wellenlängen reagieren

den Preis höherer Materialkosten und aufwendigerer Herstellung.

Stromerzeugende Fassaden

Noch effizienter sind lichtbündelnde Systeme. Dabei konzentrieren integrierte Spiegel oder Linsen Licht auf eine winzige Zelle. Die deutsche Firma Concentrix (siehe TR 1/07) hat ein solches System mit 35 Prozent Wirkungsgrad entwickelt. „An guten Standorten können Konzentratorsysteme schon heute kostengünstiger Strom erzeugen als herkömmliche Flachmodule“, sagt Andreas Bett, Leiter der Abteilung Solarzel-

len am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg, aus dem Concentrix als Spin-off hervorgegangen ist. Allerdings müssen Konzentrator-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.

Auch am unteren Ende der Preisliste – bei der Dünnschicht-Technologie – herrscht reger Wettbewerb. Das größte Potenzial wird den CIS-Zellen (siehe Glossar) zugesprochen. Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit einen Wirkungsgrad von 19,8 Prozent – keine andere Dünn-

schicht-Technologie kann da bislang mithalten. Allerdings sind industriell gefertigte Zellen noch weit von solchen Werten 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.

Anders sieht es schon heute bei den ebenfalls dünnen Cadmiumtellurid-Zel-

auftreten, die niedrigere Effizienzen zur Folge haben. Durchschnittlicher Wirkungsgrad: rund 14 Prozent.

Dünnschicht-Technologie

kommt ohne das aufwendige Zerschneiden von Siliziumblöcken in Wafer aus. In der Regel werden die photoaktiven Schichten direkt auf Trägermaterial wie Glas, Blech oder

Kunststoff aufgedampft. Sie können aus hauchfeinen Siliziumschichten, Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupfer zusammen mit Indium, Gallium, Selen oder Schwefel (CIS) bestehen. Wirkungsgrad: ca. 10 Prozent.

Rekombination

bezeichnet den Vorgang in der Solarzelle, bei dem sich negative

Elektronen wieder mit positiven Elektronenlöchern vereinen, aus denen sie zuvor vom Sonnenlicht herausgeschlagen wurden. Diese Ladungsträger gehen dabei für die Solarstrom-Erzeugung verloren. Passivierende Schichten, die auf die Zellenoberfläche aufgetragen werden, verringern eine solche Rekombination.

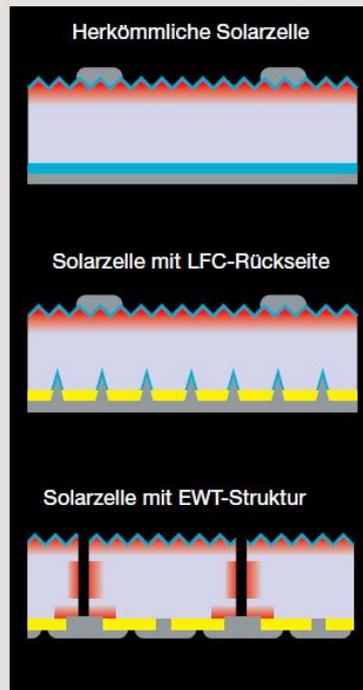
len aus: Module des Marktführers First Solar erreichen zwar nur maximal elf Prozent Wirkungsgrad, das aber nach Unternehmensangaben für nur 75 Euro-Cent pro Watt und damit weit preiswerter als CIS- und Silizium-Module. Sie benötigen wegen ihres geringeren Wirkungsgrades zwar für die gleiche Leistung mehr Fläche, können dafür aber besser als stromerzeugende Fassaden und Fenster in Gebäude integriert werden. Centrosolar etwa verkauft neuerdings Dünnschicht-Siliziumzellen als Folien für Flachdächer.

360 Millionen für ein längeres Leben

Organische Nanozellen könnten bald ebenfalls eine Option für die Gebäudeintegration sein. Die Firma G24i etwa produziert seit 2007 Farbstoffzellen in großtechnischem Maßstab. Dabei wandelt ein Gemisch aus Titandioxid-Nanopartikeln und Farbstoffmolekülen – winzige Bällchen einer Ruthenium-Verbindung – ähnlich wie bei der Photosynthese Licht in Strom um.

Die größte Schwäche solcher organischen Zellen ist, dass sie nach wenigen Jahren an Leistung verlieren. Um das zu ändern, wollen das Bundesforschungsministerium und große Unternehmen, darunter BASF, Bosch, Merck und Schott, die organische Photovoltaik mit zusammen 360 Millionen Euro fördern. Ziel ist es, organische Solarzellen mit mindestens zehn Prozent Wirkungsgrad und einer Lebensdauer von mehr als zwanzig Jahren zu entwickeln – zu Kosten, die weit unter denen konventioneller Siliziummodule liegen.

Trotz der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Dünnschicht & Co. glaubt Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Entwicklung von Silizium solarzellen am Fraunhofer ISE, an die Zukunft der Silizium-Wafer-Technologie, da ihre Langzeitstabilität außer Frage stehe und sich ihre Effizienz bereits mit relativ geringem Aufwand verbessern lasse. Wirkungsgradsteigerungen von bis zu einem Prozent sind etwa zu erreichen, indem Antireflexionsschichten mehr Strahlung nutzbar machen und Passivierungsschichten der Rekombination (siehe Glossar) entgegenwirken.



Konventionelle Zelle: Kontakte auf der Front und eine Metallfläche auf der Rückseite sorgen für den elektrischen Kontakt nach außen. Kleine Pyramiden, die Reflexionen verringern, und eine Passivierungsschicht aus Aluminium steigern die Effizienz.

Lasern statt drucken: Bei Laser-Fired-Contact-Zellen werden die Rückseitenkontakte nur lokal mit Lasern hergestellt. Dadurch gehen weniger Ladungsträger für den Solarstrom verloren.

Verschattungsfreie Front: Bei Emitter-Wrap-Through-Zellen werden Vorderseitenkontakte eingespart, indem die gut leitende Halbleiterschicht, der Emitter, durch viele lasergebohrte Löcher auf die Rückseite geführt wird.

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 vergleichsweise dicke 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. Sein Institut arbeitet zusammen mit dem Photovoltaik-Hersteller Ersol außerdem an Rückseitenkontakten, die durch punktuelles Laserbefeuern einer Aluminiumschicht gebildet werden. Auf diese Weise könnten papierdünne Wafer verwendet werden. In zwei bis drei Jahren will Ersol damit auf dem Markt sein.

Weitere Effizienzgewinne verspricht monokristallines „n-Typ“-Silizium. Es hat bessere elektrische Eigenschaften als

das derzeit meist verwendete „p-Typ“-Silizium. So überleben die Ladungsträger darin länger, was bei Rückkontaktzellen unabdingbar ist. Bislang allerdings ist es nur SunPower und Sanyo gelungen, den Wunderstoff in einen industriellen Prozess einzubinden. Wie, darüber ist kaum etwas bekannt.

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. Um die Ladungsträger trotz der strukturellen Defekte des Materials an der Rekombination zu hindern, wird der Emitter durch viele lasergebohrte Löcher von der Front- auf die Rückseite geführt.

Bisher werden EWT-Zellen nur von der US-Firma Advent Solar hergestellt. Sie erreichen Wirkungsgrade von 15,2 Prozent, sind also etwas effizienter als Standardzellen aus multikristallinem Silizium. Die wirtschaftlich erreichbare Effizienz sieht Advent bei 17 Prozent – die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren. ■