

Zellen von der Rolle

Die Solarbranche bereitet den nächsten Entwicklungsschritt vor: Flexible Photovoltaik-Folien und neue Halbleitermaterialien sollen Solarstrom deutlich billiger machen.

Von Sascha Rentzing

Vorreiter in der Folientechnik: Die Dresdner Firma Heliatek will in Kürze mit der Serienfertigung von Solarzellen beginnen, bei der das lichtabsorbierende Material im Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf eine Plastikfolie aufgedampft wird.

Es war der bisher größte Flop in der Geschichte der Photovoltaik: Als der US-amerikanische Modulhersteller Nanosolar im Jahr 2007 die Produktion aufnahm, versprach sein Gründer Martin Roscheisen eine Kostenrevolution. Die Technik, bei der anstelle des massiven Siliziums winzige Nanoteilchen aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen (Cigs) Sonnenlicht in Strom umwandeln, sollte bei vergleichbaren Wirkungsgraden um ein Vielfaches günstiger sein als herkömmliche Siliziummodule.

Nanosolars Trick: Die nur 20 Nanometer großen Partikel werden gelöst, per Rotationsdruck auf einen günstigen Aluminiumträger aufgetragen und anschließend durch schnelles Aufheizen in eine stabile, ultradünne Halbleiterschicht verwandelt. So würden die Produktionskosten auf weniger als einen Dollar pro Watt sinken, versprach Roscheisen. Die Investoren waren begeistert, pumpeten insgesamt eine halbe Milliarde Dollar in die Kommerzialisierung der Technik.

Doch das Projekt scheiterte: Nanosolar erreichte weder stabile Wirkungsgrade noch die Kostenziele. Im vorigen Jahr schloss es deshalb seine Fabrik in San Jose und verkaufte sämtliche Maschinen. „Die Probleme waren zu komplex. Nanosolar ist Geschichte“, räumt Roscheisen heute ein.

Dennoch hat Nanosolars Konzept gedruckter Billig-Photovoltaik die Branche offensichtlich inspiriert. Immer mehr Solarhersteller schwenken zu Zellen, die sich kontinuierlich und schnell durch Rolle-zu-Rolle-Aufdampfung oder Rollendruck herstellen lassen. Auf diese Weise können sie aufwändige und teure Produktionsschritte umgehen, die bei kristallinen Siliziumzellen oder Dünnschichtmodulen unvermeidbar wären. So müssen bei der kristallinen Technik Siliziumblöcke erst in dünne Scheiben gesägt werden, ehe sie zu Zellen verarbeitet werden können. Dünnschichtmodule wiederum müssen

minutenlang in speziellen Öfen gebacken werden, bis sich ihre photoaktiven Schichten herausgebildet haben. Außerdem sind Metall- oder Plastikfolien wesentlich günstigere Trägermaterialien als Glas, das üblicherweise verwendet wird.

Die Dresdner Firma Heliatek gilt als ein Vorreiter der Folientechnik und will in Kürze die Serienfertigung starten. Sie nutzt kleine Moleküle, so genannte Oligomere, die als feines Pulver in eine beheizte Glasrinne kommen. Bei etwa hundert Grad Celsius verdampft es und setzt sich auf einer Plastikfolie fest, die von Rolle zu Rolle an der Rinne vorbeiläuft. Mit zwölf Prozent Wirkungsgrad reicht die Technik zwar nicht an die 20 Prozent Effizienz gängiger Siliziumzellen heran. Dafür ist sie günstiger und kann auch in Fassaden und Fenster integriert werden, die für die klobigen Siliziumzellen tabu sind.

Neben den Herstellern organischer Photovoltaik wie Heliatek entwickeln auch immer mehr Produzenten von Dünnschichtmodulen Photovoltaik-Folien. Miasolé aus Kalifornien etwa, Tochterfirma des chinesischen Hanergy-Konzerns, erreicht mit Cigs-Folien mittlerweile mehr als 14 Prozent Wirkungsgrad.

„Flexible, kostengünstig produzierbare Photovoltaik könnte zum großen Trend werden.“

Thomas Kießling, 3D

Beim Miasolé-Prozess werden in so genannten Sputterkammern Cigs-Festkörper mit energiereichen Ionen beschossen, wobei sich Atome lösen, in die Gasphase übergehen und sich auf einem durchlaufenden Metallsubstrat absetzen. Zum Vergleich: Bei der gängigen Cigs-Produktion werden Glasscheiben einzeln im Abstand mehrerer Minuten in so genannten Durchlauföfen beschichtet. Das kostet wesentlich mehr Zeit und Energie.

Der Chemnitzer Anlagenbauer 3D-Micromac wird im Herbst eine weitere Dünnschichtfirma mit Maschinen für die Rolle-zu-Rolle-Bearbeitung von dünnen Schichten ausstatten. Die Firma, über deren Namen Stillschweigen vereinbart wurde, werde zunächst eine Pilotlinie mit 50 bis 100 Megawatt Jahreskapazität errichten, erklärt Thomas Kießling, der bei 3D für den China-Vertrieb zuständig ist. In den kommenden zwei bis drei Jahren sei dann der Bau einer kommerziellen Fertigung mit bis zu 300 Megawatt geplant. „Flexible, kostengünstig produzierbare Photovoltaik könnte zum großen Trend werden“, so Kießlings Einschätzung.

Leichtbau statt Hochleistung

Bernhard Dimmler, Dünnschichtexperte beim schwäbischen Maschinenbauer Manz, sieht das ähnlich: „Derzeit erreichen wir auf unserer „CIGS fab“ Produktionskosten von 0,41 Euro pro Watt. In acht Jahren sind 0,22 Euro realistisch. Aber darunter kommen wir nur, wenn wir Glas durch Laminierfolie ersetzen.“ Es sei deshalb denkbar, dass auch Manz künftig Rolle-zu-Rolle-Verfahren für Cigs-Module entwickle, erklärt Dimmler. Bis es so weit ist, müssten Forscher jedoch noch einige Vorarbeit leisten. So eignen sich gängige Metallfolien nicht für die hohen Temperaturen bei der Cigs-Herstellung. „Die Folien müssen daher durch zusätzliche Superbarrieren geschützt werden.“

Außerdem benötige die Cigs-Abscheidung und -Kristallisation Zeit, die bei Rolle-zu-Rolle-Verfahren knapp werde.

Auch in den Solarlaboren hat ein Umdenken eingesetzt. Das spiegelt unter anderem die kommende europäische Photovoltaik-Konferenz EU PVSec in Amsterdam wider. Zu früheren Veranstaltungen stand eine Frage im Mittelpunkt: Welche Schrauben müssen gedreht werden, um den Wirkungsgrad von Siliziumzellen zu steigern. ▶



Beachtliche Energieausbeute: Die Cigs-Folien des Solarherstellers Miasolé in Kalifornien erreichen einen Wirkungsgrad von 14 Prozent.

Mit zunehmender Industriereife werden kostensenkende Effizienzgewinne jedoch immer schwieriger. Im Labor erreichten australische Wissenschaftler in den Neunzigerjahren mit einer Siliziumzelle 24,7 Prozent Effizienz – diesem Rekord sind die Hersteller mit industriellen Siliziumzellen bereits sehr nahegekommen. Um die verbleibende Lücke von etwa zwei bis drei Prozentpunkten zu schließen, müssten die Firmen mit hohem Aufwand zusätzliche Prozessschritte zwischenschalten.

Da sich die Siliziumphotovoltaik ihren Grenzen nähert, stellen sich für die Wissenschaftler neue Fragen: Wie können die Solarstromkosten konsequent weiter gesenkt werden? Gibt es Alternativen zum Silizium? Offensichtlich haben die Wissenschaftler bereits einen viel versprechenden Kandidaten ins Auge gefasst. Auf der PVSec wird es gleich mehrere Veranstaltungen zu einem neuen Material für nanostrukturierte Zellen geben: Perowskit.

Das Mineral verspricht, gleichzeitig effizient und preiswert zu sein. Beides lässt sich bisher nicht miteinander vereinbaren: Siliziumzellen sind leistungsstark, aber recht teuer. Organische Zellen wiederum können einfach auf Folie gedruckt werden, liegen derzeit aber erst bei zwölf Prozent Wirkungsgrad (neue energie 02/2014).

Viele neue Absorber

Perowskite könnten das Problem lösen. Gleich mehrere Forscherteams in Korea, Japan und in den USA erreichen mit Perowskit-Zellen jeweils einen Wirkungsgrad von annähernd 20 Prozent. Gegenüber den ersten Perowskitzellen vor fünf Jahren hat sich die Effizienz damit versechsfacht. Diese hohen Werte sind möglich, weil das Material organische und anorganische Bestandteile verbindet. Die organischen absorbieren viel Licht, die anorganischen transportieren die Ladungsträger verlustarm zu den Metallkontakten.

Forscher der University of California in Los Angeles halten mit einer Zelle mit 19,3 Prozent derzeit den Wirkungsgradrekord. Um die Rekordzelle herzustellen, bedampfen sie zunächst Glas mit anorganischen Bleikristallen und setzen die Schicht anschließend einer Atmosphäre aus organischen Molekülen (Methylammonium-Halogenid) aus. Bei 150 Grad Celsius verbinden sich die Kristalle und Moleküle zu einer nur einen Mikrometer starken Perowskit-Schicht. Dennoch erzeugt die Zelle fast so viel Strom wie eine 180 Mikrometer dicke Siliziumzelle.

Forscher der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Lausanne wollen Perowskit-Zellen noch einfacher im Rolle-zu-Rolle-Verfahren drucken. Sie tragen dazu ein flüssiges Gemisch aus Blei und organischen Bestandteilen auf einen porösen Film aus Titandioxid auf. Dieser weiße Farbstoff dient als eine Art Autobahn für Elektronen. Dass die gedruck-



Ultradünn: Die drei Forscher von der TU Wien, Marco Furchi, Thomas Müller und Andreas Pospischil (v.l.n.r.), haben eine Solarzelle aus den Halbleitern Wolframdiselenid und Molybdändisulfid entwickelt, deren Materialschichten jeweils nur aus drei Atomlagen bestehen.

te ETH-Zelle derzeit nur maximal 15 Prozent Wirkungsgrad erreicht, zeigt aber: Bis zur Kommerzialisierung der Technik ist noch viel Forschung nötig. Eine Erklärung für die relativ geringe Effizienz: Beim Drucken geraten die Beschichtungen noch nicht so homogen wie beim Vakuumverfahren. Eine weitere Hürde ist die Lebensdauer: Perowskit ist empfindlich und zersetzt sich schnell, wenn es mit Wasser in Berührung kommt. Deshalb müssen die Forscher Verkapselungen entwickeln, um die Haltbarkeit zu erhöhen.

ETH-Forscher Mohammad Khaja Nazeeruddin hält die Probleme jedoch für lösbar. Selbst Zellen mit mehr als 20 Prozent Wirkungsgrad seien künftig vorstellbar. Dazu müssten mehrere Perowskit-Schichten zu einer so genannten Tandemzelle gestapelt werden. Auch die Kombination mit Silizium sei denkbar. Da sich die Absorber auf verschiedene Bereiche des Lichtspektrums

abstimmen ließen, könnten sie zusammen mehr Licht nutzen.

Perowskit ist aber nur eines von vielen interessanten Materialien für kommende Zellengenerationen. Forscher der TU Wien haben soeben eine Zelle aus den Halbleitermaterialien Wolframdiselenid und Molybdändisulfid entwickelt, die jeweils nur aus

”

Derzeit erreichen wir auf unserer ‚CIGS fab‘ Produktionskosten von 0,41 Euro pro Watt, in acht Jahren sind 0,22 Euro realistisch.“

Bernhard Dimmler, Manz

drei Atomlagen bestehen. Beide Schichten wurden zunächst im Vakuum ausgeheizt und dann in gewöhnlicher Atmosphäre zusammengefügt, erklären die Forscher. Die Wolframdiselenid-Schicht übernimmt die Aufgabe, das Licht zu absorbieren. In der Grenzzone trennen sich die generierten

Ladungsträger. Die positiv geladenen Elektronenlöcher bewegen sich im Wolframdiselenid, die negativ geladenen Elektronen wandern über die Molybdänverbindung ab. Über Elektroden könnte die elektrische Energie abgegriffen werden.

Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich haben unterdessen in Zusammenarbeit mit der Firma Evonik eine weitere Nanozelle entwickelt. Anstelle von Siliziumscheiben nutzen die Wissenschaftler Silizium in einer flüssigen chemischen Verbindung und tragen es als einen einige hundert Nanometer dicken Film auf eine Glasscheibe auf. Mit 3,5 Prozent Effizienz liegt

die Zelle zwar noch weit hinter konventionellen Lösungen. Doch die Jülicher Forscher glauben, dass die leicht herstellbaren Flüssigzellen noch effizienter werden können. In den Laboren läuft die Suche nach einem Ersatz für die klassischen Siliziumzellen auf Hochtouren. ◀