



Die hauchdünnen Solarfolien aus der Produktionsanlage des Unternehmens Heliatek GmbH aus Dresden wiegen nur 500 g/m² und sind weniger als 1mm dünn. Fotos: Heliatek

Sensibler Superstoff

Neues Material | Solarzellen aus dem neuen Halbleiter Perowskit sollen konkurrenzlos günstig Sonnenstrom produzieren. Doch dafür müssen Forscher erst seine Lebensdauer erhöhen und das giftige Blei eliminieren.

Die Solarbranche steckt in einem Dilemma. Einerseits sollen Solarzellen Licht hocheffizient in elektrische Energie umwandeln, andererseits soll Sonnenstrom günstiger sein als konventionell erzeugte Energie. Beides lässt sich bisher nicht unter einen Hut bringen. Die besten Siliziumzellen erreichen zwar mehr als 20 % Wirkungsgrad, sind aber in der Herstellung aufwendig und teuer. Organische Zellen wiederum können einfach auf Folie gedruckt werden, kommen allerdings über einen Wirkungsgrad von zwölf Prozent nicht hinaus. Das Problem ließe sich jedoch möglicherweise bald lösen. Die Hoffnung der Wissenschaftler ruht auf Zellen, in denen der organisch-anorganische Hybridhalbleiter Perowskit Licht einfängt. Forscher der University of California, Los Angeles, (UCLA) haben mit einer Perowskit-Laborzelle 19,3 % Wirkungsgrad erreicht. Seit vor fünf Jahren zum ersten Mal Perowskit-Zellen gebaut wurden, hat sich ihr Wirkungsgrad damit sechsfacht. „Einen solchen Fortschritt haben wir bisher mit keinem anderen photovoltaischen Material erlebt“, sagt Thomas Unold, Leiter des Instituts für Technologien am Helmholtz-Zentrum Berlin. Ein Vorteil von Perowskit ist, dass sich Ladungsträger darin blitzschnell fortbewegen können. Eine Solarzelle besteht aus zwei Halbleiterregionen, einer mit einem Überschuss an negativen und einer mit mehr positiven Ladungsträgern. Regt Licht die Ladungsträger an, trennen sie sich im elektrischen Feld an der Schnittstelle – die Elektronen machen sich auf den Weg zum negativen Kontakt der Zelle, die Elektronenlöcher wandern zum positiven. Die meisten Elektronen verlieren unterwegs jedoch ihren angeregten Zustand und

vereinigen sich wieder mit den Elektronenlöchern, gehen also für den Solarstrom verloren. Im Perowskit halten sich diese sogenannten Rekombinationsverluste in Grenzen: Das Material weist eine hohe Diffusionslänge auf – die Elektronen können also eine lange Wegstrecke zurücklegen, bis sie sich wieder mit den Löchern vereinigen. Gleichzeitig könnte Perowskit wesentlich günstiger sein als das gängige Silizium oder Dünnschichtmaterialien wie Indium und Tellur. Die Siliziumdestillation kostet viel Energie, die Dünnschichtrohstoffe sind selten und haben ihren Preis. Deshalb erzeugen die etablierten Halbleiter Sonnenstrom erst in wenigen sonnenreichen Regionen der Erde zu konkurrenzfähigen Kosten. Perowskitstrom könne definitiv günstiger sein, erklärt UCLA-Forscher Yang Yang, denn das Material bestehe aus organischem Kohlenstoff, Stickstoff und

Wasserstoff sowie aus anorganischem Blei, Chlor und Jod. Diese Elemente seien gut verfügbar und liefen sich zudem sparsam einsetzen. Die UCLA-Forscher liefern dafür mit ihrer Rekordzelle einen beeindruckenden Beweis. Um sie herzustellen, dampfen sie zunächst anorganisches Bleihalogenid auf Glas auf und setzen die Schicht anschließend einer Atmosphäre aus organischem Methylammonium-Halogenid aus. Bei 150 °C drängen die organischen Moleküle in die Bleischicht ein und verbinden sich mit den Bleikristallen zu einem kompakten Perowskitabsorber mit nur knapp einem Mikrometer Stärke. Dennoch wandelt die Zelle fast so viel Licht in Strom um wie eine 180 Mikrometer dicke Siliziumzelle, die unter Laborbedingungen maximal 25 % Effizienz erreicht. Forscher der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Lausanne wollen Perowskitzellen noch einfacher im Druckverfahren herstellen. Sie tragen eine Flüssigkeit von Metallen und organischen Bestandteilen auf einen porösen Film aus

Titandioxid auf. In bereits verfügbaren Farbstoffzellen dient dieses Weißpigment als eine Art Schnellstraße für Elektronen, auf der die bei der Lichtabsorption erzeugten Ladungsträger rasch zum Minuspol der Zelle gelangen können. Im Falle der neuen Perowskitzelle konnten die ETH-Forscher nachweisen, dass sich das Titandioxid innerhalb von wenigen Sekunden mit der Flüssigkeit vollsaugt und sich ohne weitere Maßnahmen eine gleichmäßige Perowskitschicht bildet.

Allerdings wandelt die gedruckte ETH-Zelle derzeit maximal 15 % des Lichts in elektrische Energie um. Eine Erklärung für die vergleichsweise geringe Effizienz ist, dass sich mit Druckverfahren grundsätzlich nicht so homogene Absorber realisieren lassen wie mit vakuum-basierten Beschichtungsverfahren. ETH-Forscher Muhammad Khaja Nazeeruddin hält aber einen Wirkungsgrad von mehr als 20 % für möglich, wenn zum Beispiel mehrere Perowskitzellen zu einer so genannten Tandemzelle kombiniert würden. Auch die Kombination von Perowskit mit Silizium sei denkbar. Da sich die Absorber auf verschiedene Bereiche des Lichtspektrums abstimmen ließen, könnten sie insgesamt mehr Strahlungsenergie nutzen – der Wirkungsgrad würde steigen. Bis Tandemzellen kommerziell einsetzbar sind, müssen die Forscher jedoch noch einige Her-

Die Grenzen des Siliziums

verfahren mit einer Siliziumzelle 24,7 % Effizienz – diesem Rekord sind die Hersteller mit industriellen Siliziumzellen bereits sehr nahe gekommen. Um die verbleibende Lücke von etwa zwei bis drei Prozentpunkten zu schließen, müssten die Firmen mit hohem Aufwand zusätzliche Prozessschritte zwischenschalten. Da sich die Siliziumphoto-

voltaik ihren Grenzen nähert, stellt sich für die Wissenschaftler eine neue Frage: Wie können die Solarstromkosten konsequent weiter gesenkt werden? Die Dünnschicht könnte eine Alternative sein. Zellen auf Basis von CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid) erreichen mittlerweile ebenfalls fast 20 % Effizienz, sind aber wegen der hohen An-

schaffungskosten für neue Produktionslinien derzeit nur wenig gefragt. Eine andere Alternative bieten nanostrukturierte Zellen. Voraussetzung ist allerdings, dass die Forscher industrietaugliche Prozesse entwickeln, damit viel versprechende Materialien wie Perowskit auch verwendet werden können. Bisher fehlen die nötigen Verfahren. sr

Noch lässt sich die Frage nicht eindeutig beantworten, da auf dem Weg zur industriellen Produktion noch viele technische Probleme zu lösen sind. „Die Entwicklung steht erst am Anfang“, sagt Helmholtz-Forscher Unold. Besonders schwierig dürfte es werden, die Langzeitstabilität des Absorbers sicherzustellen. Bei den artverwandten Farbstoffzellen bemühen sich die Wissenschaftler seit den frühen Neunzigerjahren vergeblich, eine Lebensdauer von mindestens zehn Jahren zu erreichen – selbst die besten Farbstoffzellen verlieren wegen der wasser- und hitzeempfindlichen Bestandteile spätestens nach fünf Jahren deutlich an Leistung. (rz) Sascha Rentzsch

Schwermetall auch in den Lötverbindungen gängiger Siliziumzellen vorkommt, so könnte es dem Image der neuen Solartechnik doch schaden. Ziel ist es daher, das Blei durch weniger bedenkliche Materialien wie Zinn oder Germanium zu ersetzen. Die ersten Versuche liefen bereits: Forscher der Universität Oxford sowie der Northwestern University in Evanston in den USA stellten kürzlich die ersten zinnbasierten Perowskitzellen vor. Allerdings erreichten beide Gruppen mit ihren Zellen jeweils nur sechs Prozent Wirkungsgrad, also nicht einmal ein Drittel der Effizienz der UCLA-Rekordzelle. Sind Perowskitzellen also eine greifbare Option oder nur eine kühne Vision?

In einem so genannten Rolle-zu-Rolle Verfahren werden die Solarfolien miteinander verbunden.

