

Eine Testfabrik für HJT-Solarzellen

Hinter dem Kürzel 'Swiss Inno HJT' steckt ein ambitioniertes Pilotprojekt, mit dem vier Akteure der Schweizer Solarindustrie in Hauterive (NE) eine industriereife Fertigungsstrasse für einen innovativen Typ von Solarzellen auf der Grundlage der Heterojunction-Technologie (HJT) realisieren. Beteiligt sind drei Firmen der Meyer Burger Gruppe (Roth & Rau Research, Pasan, Meyer Burger Thun) sowie das PV-Center des Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM).



Der Westschweizer Physiker Benjamin Strahm überwacht in der Pilotfabrik in Hauterive (NE) die Beschichtung der HJT-Solarzellen mit amorphem Silizium. Foto: Benedikt Vogel

Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

Wenn man an einem Ort die Kraft der Sonne spürt, dann hier am Ufer des Neuenburgersees in Hauterive. Die Sonnenstrahlen funkeln in der gekräuselten Wasseroberfläche, und sie fallen wärmend auf die Rebberge, die sich dem See entlangziehen. Dieser Sonne das Maximum an Energie abzutrotzen – das versuchen sie auch in dem Fabrikgebäude, das unten am Fuss des Jurahangs steht. Hier betreibt ein Dutzend Wissenschaftler und Techniker der Firma Roth&Rau Research AG seit

März 2014 eine Pilotfabrik für eine neue Klasse von Solarzellen. Mehr als einen Fünftel (bis zu 23 %) der in den Sonnenstrahlen gespeicherten Energie wandeln die Solarzellen in Strom um. Angesichts des kostengünstigen Produktionsprozesses mit wenigen Prozessschritten eröffnet dieser hohe Wirkungsgrad ein grosses ökonomisches Potential.

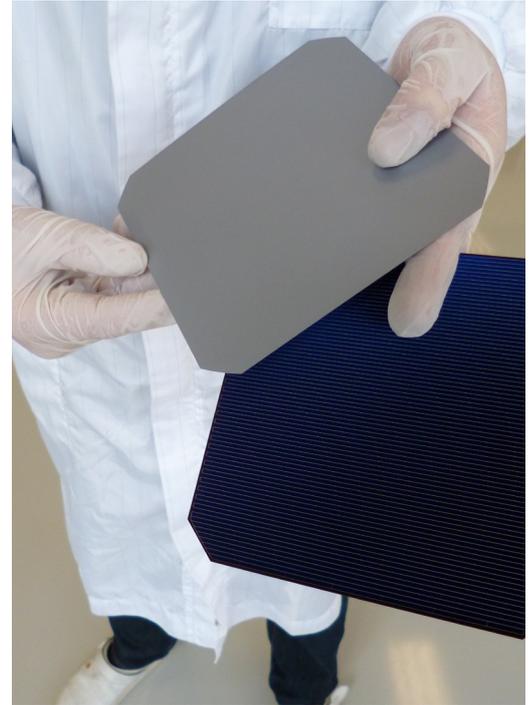
Pilotanlage für Produktion von HJT-Solarmodulen

Die Solarzellen, die hier in Hauterive unweit von Neuenburg im Testbetrieb gefertigt werden, beruhen auf der Heteroübergangs-

2 Eine Testfabrik für HJT-Solarzellen

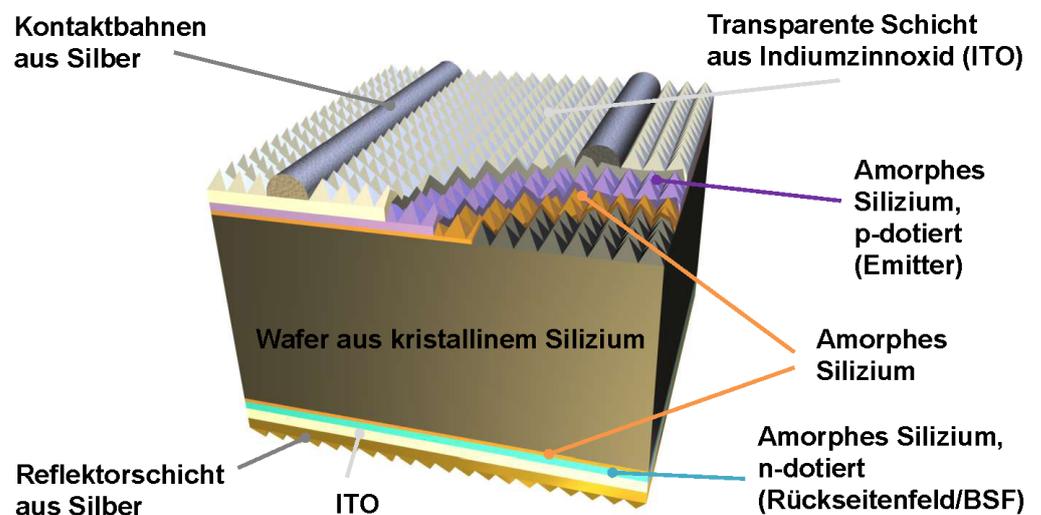
Technologie (engl. Heterojunction Technology, HJT). Das japanische Unternehmen Sanyo (heute: Panasonic) setzte die Technologie bereits früher für die Produktion von Solarzellen ein. Nach dem Ablauf des Patentschutzes hat ein Projektteam aus Schweizer und deutschen Solarexperten die Technologie aufgegriffen und ein neuartiges Produktionsverfahren für die bekannte Technologie geschaffen. „Der von uns entwickelte neuartige Fabrikationsprozess ist bei gleichen Leistungswerten der Solarpanels günstiger als die vor 15 Jahren realisierten Prozesse von Sanyo“, sagt Dr. Matthieu Despeisse, Photovoltaik-Spezialist am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM), das die Entwicklung massgeblich vorangetrieben hat. Dieses neue Verfahren wird nun in Hauterive getestet. Die Testanlage soll beweisen, dass sich HJT-Solarzellen im industriellen Massstab mit Spitzenwirkungsgraden und hohem Energieertrag fertigen lassen.

Projektleiter Benjamin Strahm steht in der Produktionshalle und trägt einen weissen Schutzanzug. Der Anzug schützt nicht die Menschen, die drin stecken, sondern die Solarzellen, die hier unter Reinraum-Bedingungen entstehen und die nicht durch Staub-



In der Pilotfabrik im neuenburgischen Hauterive werden aus den Silizium-Wafern (grau) Solarzellen (blau) hergestellt. Foto: Benedikt Vogel

partikel verunreinigt werden sollen. Strahm pickt eine quadratische, dünne Scheibe aus einem Schrank, 156 x 156 mm gross, gerade mal 0,2 mm dick: ein Wafer aus kristallinem



Der Aufbau einer HJT-Solarzelle: Auf den Wafer aus kristallinem Silizium werden mehrere Schichten aus amorphem (nicht-kristallinem) Silizium aufgebracht. Grafik: Roth&Rau/B. Vogel

3 Eine Testfabrik für HJT-Solarzellen

Silizium. Die Wafer wurden von Meyer Burger in Thun mit einer umweltfreundlichen, wasserbasierten Diamantdraht-Technologie aus Silizium-Blöcken geschnitten. In der Testfabrik von Roth&Rau Research in Hauterive werden die Wafer zu HJT-Solarzellen verarbeitet, und zwar mit weniger Prozessschritten als bei anderen Solarzellen üblich: Der Wafer wird beidseitig angeätzt, damit er möglichst viel Oberfläche für die Lichteinkopplung erhält. Dann kommen pro Seite zwei extrem



'Swiss Inno HJT'-Projektleiter Benjamin Strahm mit einer HJT-Solarzelle. Die Pilotproduktion in Hauterive erfolgt unter Reinraumbedingungen. Foto: Benedikt Vogel

dünne Schichten aus amorphem Silizium auf den Wafer (hier werden die Elektronen 'eingesammelt', die das Sonnenlicht aus dem Silizium-Wafer schlägt) und beidseitig eine transparent leitfähige Anti-Reflektionsschicht (steigert die Energieausbeute). Rückseitig werden dann noch sehr dünne Metallschichten (z.B. Aluminium) aufgebracht, die Reflexion und Leitfähigkeit erhöhen. Auf der „sunny side“ (Vorderseite) werden mit Siebdruck die typischen Gitterstrukturen aus Silber aufge-

tragen. Die dünnen metallischen Kontaktbahnen ('Finger') leiten den Strom ins Netz.

Fertigungstechnologie optimieren

In der Testfabrik sollen für jeden Produktionsschritt die verfügbaren Technologien ausgetestet, optimiert und diese dann für die industrielle Produktion hochskaliert werden. So soll beispielsweise versucht werden, die Dicke des Wafers von 0,2 mm auf 0,14 mm zu reduzieren. Dadurch könnten aus demselben Siliziumblock mehr Wafer geschnitten werden – die resultierende Materialersparnis würde die Zelle rund 5 % günstiger machen. Auch soll in Zusammenarbeit mit dem Neuenburger Forschungszentrum CSEM versucht werden, die Metallkontakte nicht aus Silber, sondern aus dem kostengünstigeren Kupfer herzustellen. Damit könnte die Breite der Finger von 0,035 auf 0,02 mm reduziert werden, was sehr vorteilhaft wäre, da schmalere Finger den Lichteinfall auf die Solarzelle weniger beeinträchtigen und so die Effizienz der Solarzelle erhöhen. Der Testbetrieb soll zeigen, ob der für das Aufbringen der Kupferbahnen verwendete Galvanisationsprozess im industriellen Masstab kompetitiv durchgeführt werden kann.

Die eigentliche Innovation der Neuenburger Testanlage erfolgt bei der Abscheidung der amorphen Siliziumschichten: Der Wafer wird erst beidseitig mit einer 5 nm (Millionstelmillimeter) dicken Schicht aus amorphem (also nicht-kristallinen) Silizium überzogen, anschließend eine zweite Schicht aufgebracht, die auf der Oberseite der Zelle aus einer Silizium-Bor-Legierung besteht (p-Dotierung), auf der Unterseite aus einer Silizium-Phosphor-Legierung (n-Dotierung). Diese insgesamt vier Schichten sind das Charakteristikum der HJT-Zelle, weil hier nicht-kristallines Silizium auf den Wafer aus kristallinem Silizium aufgebracht wird und damit ein Heteroübergang zwischen zwei Siliziumarten zustande kommt, der der Technologie den Namen gab.

Zum Aufbringen dieser extrem dünnen Schichten wird das PECVD-Verfahren (plas-

maunterstützte chemische Gasphasenabscheidung) verwendet. Diese Produktionstechnologie wurde von Roth&Rau und dem Photovoltaik-Labor des Instituts für Mikrotechnik der ETH Lausanne gemeinsam entwickelt. Benjamin Strahm war von Beginn an dem 2008 gestarteten Entwicklungsprozess beteiligt. Er hatte zuvor Materialwissenschaften studiert und an der ETH Lausanne in Plasmaphysik promoviert. „Ich bin dann in dieses Projekt eingestiegen, weil meine Kenntnisse in der Plasmaphysik bei der Entwicklung des PECVD-Reaktionsprozesses gefragt waren.“ Der Prozess läuft in Hauterive bei Niedertemperatur (200 °C) ab und damit bei deutlich tieferen Temperaturen (und geringerem Energieverbrauch) als zur Herstellung klassischer Siliziumzellen (700 °C) benötigt werden. Das schonende Niedertemperaturverfahren schafft obendrein die Voraussetzung, dass – wie oben beschrieben – noch dünnere Wafer entwickelt werden können.

Knowhow für die industrielle Fertigung

Seit März 2014 werden in der Testanlage am Neuenburgersee erste HJT-Solarzellen hergestellt. Ab Sommer 2014 sollen grössere Produktionsanlagen eingesetzt werden, die industriellen Anforderungen genügen und eine Kapazität von 600 kWp pro Jahr haben. Jeweils 60 der in Hauterive gefertigten Solarzellen werden dann bei Meyer Burger in Thun zu einem Solarmodul verbaut. Die fertigen Module werden in Neuenburg bei der Firma Pasan gemessen und geprüft.

'Swiss Inno HJT' wird vom Bundesamt für Energie, vom Kanton Neuenburg und den Partnerfirmen mit zehn Millionen Franken unterstützt. Während des dreijährigen Projekts sollen drei Generationen von Solarmodulen gebaut werden: Bis Ende 2014 entsteht eine erste Generation wie oben beschrieben. Bis Ende 2015/Anfang 2016 ist eine zweite Generation geplant, deren Kontakte aus Kupfer gefertigt sind statt aus Silber, sowie eine dritte Generation, die Sonnenstrahlung beidseitig in Strom umwandeln kann. Mit der dritten Generation von Solarmodulen wird auch re-

flektiertes Sonnenlicht in Energie umgewandelt, was die Effizienz der HJT-Panels weiter steigert. Von jeder Generation werden zehn HJT-Module in einem Feldversuch getestet.

Chance für die Schweizer Solarindustrie

Das Projekt 'Swiss Inno HJT' befasst sich mit dem gesamten Produktionsprozess vom Wafer bis zum installierten Photovoltaik-System. Die Meyer Burger Gruppe und das CSEM hoffen, dass ihre Kooperation die Produktionsverfahren für Heterojunction-Zellen und -Module für industrielle Hersteller von Solarpanels weltweit verbessert und weiter optimiert, was der Schweizer Solarindustrie Exportchancen für Equipment-Lieferungen eröffnet. „HJT-Module haben ein grosses Potenzial gerade auch für den Einsatz in wärmeren Gegenden. Wir sind daher überzeugt, dass diese Technologie auf den Exportmärkten für uns und damit auch für unsere Schweizer Zulieferer künftig eine wesentliche Rolle spielen werden“, sagt Dr. Patrick Hofer-Noser, Leiter des Bereichs Renewable Energy Systems bei der Meyer Burger Technology AG.

- » Zusätzliche Auskünfte zum vorliegenden Projekt erteilt Dr. Stefan Nowak, Leiter des BFE-Forschungsprogramms 'Photovoltaik': [stefan.nowak\[at\]netenergy.ch](mailto:stefan.nowak[at]netenergy.ch)
- » Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Photovoltaik finden Sie unter dem folgenden Link: www.bfe.admin.ch/CT/PV

Heterojunction-Siliziumzelle versus klassische Siliziumzelle

Die HJT-Solarzelle, die im Rahmen des Projekts 'Swiss Inno HJT' hergestellt wird, hat wie die klassische Solarzelle als Kern einen Wafer aus kristallinem Silizium. Fällt Sonnenlicht auf das Kristallgitter aus Silizium-Atomen, löst die Strahlungsenergie Elektronen aus den Gitteratomen. Aus diesen 'freien' Elektronen kann ein elektrischer Strom erzeugt werden, wenn der Wafer auf der Ober- und Unterseite beschichtet wird mit Silizium, in das in geeigneter Weise Fremdatome eingebracht wurden. Welche Materialien für diese sogenannte p-Dotierung (an der Oberseite) und die n-Dotierung (an der Unterseite) verwendet werden und mit welchen Verfahren die Schichten aufgebracht werden, ist die zentrale Herausforderung bei der Konstruktion leistungsfähiger Silizium-Solarzellen.

Bei der 'klassischen', heute am weitesten verbreiteten Siliziumzelle wird auf der sonnenzugewandten Oberseite z.B. Phosphor, auf der Unterseite Bor und Aluminium aufgebracht. Bor wird bereits in der Schmelze ins Silizium beigegeben, währenddem das Phosphor mittels Diffusion quasi in das kristalline Silizium des Wafers 'eingepresst' wird. Bei der HJT-Siliziumzelle kommt stattdessen das im Haupttext beschriebene PECVD-Verfahren zur Anwendung, mit dem auf der Ober- und Unterseite des Wafers jeweils zwei Schichten aufgebracht werden: auf der Ober- und Unterseite zuerst jeweils eine Schicht aus amorphem Silizium, die den Zweck haben, die Zelle zu passivieren (d.h. den Verlust freier Ladungsträger zu reduzieren) und damit ihren Wirkungsgrad zu erhöhen. Die zweite Schicht besteht dann an der Oberseite aus einer Silizium-Bor-Legierung, die der p-Dotierung dient, an der Unterseite aus einer Silizium-Phosphor-Legierung für die n-Dotierung.

Die HJT-Solarzelle arbeitet also wie die klassische Siliziumzelle auf der Basis eines Wafers aus kristallinem Silizium, sie erzielt aber dank der zusätzlichen Verwendung von nicht-kristallinem Silizium einen höheren Wirkungsgrad. Dank ihrer Konstruktionsweise sinkt die Stromproduktion von HJT-Zellen bei hohen Umgebungstemperaturen auch weniger stark als bei Standardzellen. So beträgt der Temperaturkoeffizient bei den HJT-Zellen $-0,20\%/Grad$ gegenüber $-0,48\%/Grad$ bei der Standardtechnologie. Photovoltaik-Experte Dr. Matthieu Despeisse vom CSEM erläutert, was dies in der Praxis bedeutet: „Wird ein Modul nicht bei der Standardtemperatur (Bezugstemperatur bei Messungen) von 25 °C betrieben, sondern bei 60 °C , beträgt der Verlust aufgrund der höheren Betriebstemperatur beim HJT-Modul 7% gegenüber $14,7\%$ beim Standardmodul. Wenn wir davon ausgehen, dass ein HJT-Modul eine Norm-Leistung von 300 Watt hat und ein Standard-Modul 270 Watt , sinkt bei der höheren Temperatur die Normleistung beim HJT-Modul auf 279 Watt , beim Standardmodul auf 230 Watt .“ BV