

Neue Möglichkeiten durch Dünnschicht-Solarzellen

Die neuen Solarzellen bestehen nur aus dünnen Schichten und werden billiger. Selbst auf flexiblen Plastikträgern wurden kürzlich erste Zellen mit fast 13% Wirkungsgrad erzeugt. Sofern sich Investoren finden, um die Zellen in grossen Mengen zu produzieren, könnte man mit CIGS- und ähnlichen Zellen bald Strom zu fast konkurrenzfähigen Preisen erzeugen.

■ Ayodhya Nath Tiwari, Franz-Josef Haug, Hans Zogg

Tiefe Herstellungskosten

Sonnenenergie ist sauber, nachhaltig und im Überfluss vorhanden. Wollen wir sie speichern und in Wärme umsetzen, gibt es bereits eine Vielzahl attraktiver Techniken für Sonnenkollektoren. Anders sieht es aus, falls wir direkt Elektrizität erzeugen möchten: Die heutigen auf dem Markt erhältlichen Solarzellen und -module sind für die meisten Anwendungen viel zu teuer. Für die Photovoltaik wird hochreines Silizium gebraucht, und die Kristalle müssen aufwändig in Scheiben geschnitten und prozessiert werden. Typische Herstellungskosten sind 5 Fr./ W_p (d.h. pro Watt erzeugter Leistung bei idealem [«peak»-]Sonnenschein). Es ist fraglich, ob die Preise auch bei vergrößerter Produktion noch wesentlich fallen können.

Um mit Energiepreisen von 10 Rappen pro kWh konkurrieren zu können, darf der Herstellungspreis dagegen nicht mehr als etwa 0,7 Fr./ W_p betragen. Dieses Ziel kann mit einer anderen Art von Solarzellen, nämlich Dünnschicht-Solarzellen, erreicht werden. Tiefe Kosten resultieren, da diese Zellen

- nur 2–3 Mikrometer dick sind und somit mit wenig Material auskommen,

- hohe Wirkungsgrade aufweisen,
- grossflächig mit bekannten Dünnschichttechniken herstellbar sind, sodass sie dereinst wahrscheinlich sogar
- auf flexiblen Substraten «ab Rolle» gekauft werden können.

Am weitesten entwickelt sind Dünnschicht-Solarzellen aus Verbindungshalbleitern wie CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Selenid) und Kadmitumtellurid (CdTe). Die besten CIGS-Zellen weisen Wirkungsgrade bis fast 19% auf, die besten CdTe-Zellen bis 16%. Dies gilt für kleinflächige Laborzellen. Bei grösseren Flächen wurden 13% Wirkungsgrad auf 30×30 cm grossen Glasplatten für CIGS erreicht. Solche Module sind allerdings noch kaum auf dem Markt eingeführt.

Fabriken für CIGS-Zellen sind in den USA und in Japan in Betrieb, in

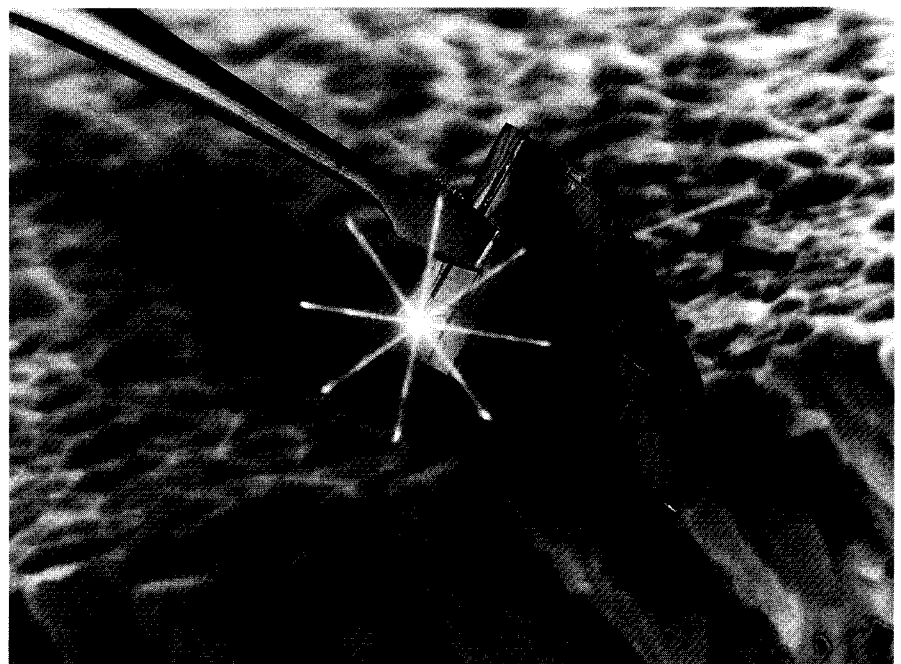
Deutschland soll je eine für CIGS und CdTe demnächst die Produktion aufnehmen. Gemäss Angaben aus Deutschland wird entsprechend dem noch eher kleinen vorgesehenen Produktionsvolumen von rund 10 MW_p /Jahr vorläufig mit Produktionskosten von 2,5 Fr./ W_p gerechnet. Bei einer Produktion von 500 MW_p pro Jahr werden 0,5 Fr./ W_p prognostiziert [1]. Weltweit werden zurzeit jährlich Zellen mit insgesamt 170 MW_p Leistung fabriziert, die Wachstumsrate beträgt 20%.

Kritische Punkte

Die hocheffizienten CIGS- und CdTe-Solarzellen werden allerdings auch kritisiert: Erstens, Elemente wie Indium (In) oder Gallium (Ga) sind teuer und nur in geringen Mengen verfügbar, und zweitens, Kadmitium (Cd) ist toxisch.

Dem ist zu entgegnen, dass der Preis von In und Ga für den Endpreis der Zelle kaum eine Rolle spielt, da sie ja nur in geringen Mengen (wenige g/m^2) gebraucht werden. Zudem wird sich die benötigte Ga- und In-Menge noch weiter verringern, sobald Zellen mit noch dünneren Schichten entwickelt sind.

Bezüglich der Toxizität von Cd ist zu bedenken, dass die Verbindung CdTe nicht mit dem Element Cd zu verglei-



Dünne Halbleiterschichten auf flexibler Folie für billigeren Sonnenstrom.

Adresse der Autoren

Dr. Ayodhya Nath Tiwari
 Franz-Josef Haug
 PD Dr. Hans Zogg
 Gruppe Dünnschichtphysik am Institut für
 Quantenelektronik
 Eidgenössische Technische Hochschule
 ETH-Gebäude, Technopark
 8005 Zürich

(aus ETH-Bulletin Nr. 276/Januar 2000)

Photovoltaikzellen

chen ist: CdTe als chemische Verbindung ist stabil und würde sich selbst bei Grossbränden nicht zersetzen. Selbst wenn CdTe-Zellen auf dem Müll landen würden, würde durch sauren Regen so wenig Cd ausgewaschen, dass die Konzentration im Trinkwasser noch unter dem Toleranzwert läge [2]. Anzustreben ist natürlich, das Material am Ende der Lebensdauer der Zelle zu rezyklieren.

Aufbau der Zelle

Wie ist eine solche Zelle aufgebaut? Auf ein Glassubstrat wird zuerst eine Molybdänschicht als Rückkontakt aufgebracht. Auf diese folgen die 2–3 µm dicke CIGS-Schicht als so genannte Absorberschicht, danach eine nur wenige Atomlagen dünne Cadmiumsulfid-(CdS)-Pufferschicht sowie schliesslich der transparente Frontkontakt aus Zinkoxid (ZnO). Das Licht fällt von oben ein. Bei grossflächigen Zellen sorgt ein Gitter aus Leiterbahnen für kleine Leistungsverluste. Für den Einsatz im Freien wird die Zelle oben mit einer zweiten Glasplatte oder transparentem Kunststoff versiegelt. Das n-leitende ZnO bildet mit dem p-leitenden CIGS eine Fotozelle. Fällt Sonnenlicht auf die Zelle, werden die durch das Licht erzeugten Ladungsträgerpaare im elektrischen Feld des p-n-Übergangs getrennt, wandern zu den entsprechenden Kontakten und erzeugen so den Solarstrom.

Solarzellen ab Rolle

Die Kosten können reduziert werden, wenn man auf das Glassubstrat verzichtet und dünne Kunststofffolien als Träger benutzt. Dies hätte zudem den Vorteil, dass die Zellen leicht werden, flexibel bleiben und in Rollen gefertigt werden können. Allerdings werden während des Herstellungsprozesses Temperaturen von 450 °C bis 550 °C benötigt. Das sind Temperaturen, welche freitragende Kunststofffolien nicht aushalten. Mit einem Trick können jedoch trotzdem gute Zellen erhalten werden: An der ETH wurden von den Autoren kürzlich CIGS-Zellen auf einem Polyimid gefertigt, die einen Wirkungsgrad von fast 13% aufweisen. Dies stellt einen Weltrekord für Solarzellen auf flexiblen Trägern dar. Das Polyimid wurde auf ein Glassubstrat aufgetragen und darauf die nötigen Schichten für die Zelle abgeschieden. Vorgängig wurde jedoch eine Opfer-

schicht aus gewöhnlichem Natriumchlorid (NaCl) aufgebracht. Diese Opferschicht wird nach dem kompletten Prozessieren durch Eintauchen in Wasser aufgelöst, der Schichtstapel auf der Polyimidfolie somit vom Glaträger getrennt – es resultiert eine flexible Zelle. Ein Labormuster einer Zelle auf einem Polyimidträger zeigt Bild 1. Wegen der verwendeten Labor-Beschichtungsapparaturen ist deren Grösse beschränkt. Um die Zellen grossflächiger herzustellen und das Verfahren für die Produktion vorzubereiten, sind derzeit Gespräche mit möglichen Partnern im Gange.

Solche Zellen können zum Beispiel auf Ziegel, gekrümmte Fassaden, aber auch auf Yachten und Campingautos geklebt werden. Als flexible «Meterware» kann man sie gerollt transportieren und am Ziel saubere Sonnenelektrizität erzeugen. Dank ihrer hohen spezifischen Leistung (1,5 kW/kg) sind sie für Anwendungen im Weltraum ebenfalls von Vorteil.

Stromverbrauch mit Solarzellen decken?

Ist es realistisch, unseren Elektrizitätsverbrauch mit Solarzellen decken zu wollen? Zum Schluss ein paar Grössenordnungen für die dicht besiedelte Stadt Zürich [3]: Der gesamte Elektrizitätskonsum beträgt etwa 2,7 TWh pro Jahr. Eine Solarzelle mit 1 m² Fläche liefert

bei sonnigem Wetter 100–150 W elektrische Leistung, über die Sonnenscheindauer auf das ganze Jahr aufsummiert erzeugt sie etwa 150 kWh Strom. Somit wären Solarzellen mit etwa 20 km² Fläche nötig, um den gesamten Strombedarf der Stadt Zürich zu decken. In der Stadt Zürich sind etwa ein Drittel der bestehenden Dachflächen – das heisst etwa 4,8 km² – geeignet für die Montage von Solarzellen (mit «geeignet» ist gemeint, dass sie trotz Abschattungseffekten mindestens 80% der einfallenden Solarenergie nutzen können). Ein Fünftel des heutigen Stadtzürcher Strombedarfes liesse sich also decken, wenn man lediglich diese geeigneten, bereits vorhandenen Dächer mit guten Solarzellen (13% Wirkungsgrad) belegen würde. Mit etwas mehr Sparwillen und ein paar km² zusätzlichen Solarzellen-Installationen könnte die Stadt sogar ihren gesamten Strombedarf mit Solarzellen decken.

Literatur

[1] European Commission Directorate-General for Energy: Photovoltaics in 2010. Office for Official Publications of the EC, Brussels, 1996.

[2] H. Steinberger: Proceedings 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy, Vienna 1998, p. 2276.

[3] S. Nowak: Programm Photovoltaik, Annual Report 1998, ENET Nr. 6100007.

Des cellules solaires tout en souplesse

Des cellules solaires légères, flexibles et bon marché, offrent d'intéressantes perspectives d'applications spatiales et terrestres. Une fois produites en grandes séries, elles pourraient même rendre l'électricité solaire compétitive. Ce nouveau type de cellules photovoltaïques a été développé à l'EPF de Zurich par une équipe scientifique de l'Institut d'électronique quantique, avec l'appui du Fonds national suisse et de l'Office fédéral de l'éducation et de la science. Les chercheurs ont mis au point un procédé pour déposer des couches minces d'un composé de cuivre, indium, gallium et sélénium sur une feuille en matière synthétique. Ils ont ainsi obtenu un rendement de presque 13% – un record mondial pour des cellules solaires souples. Ces couches minces ne mesurent que 2–3 millièmes de millimètre d'épaisseur. Des perspectives d'applications se présentent entre autres dans l'espace. Un kilogramme de cellules solaires souples en technologie CIGS pourrait y délivrer une puissance électrique de 1,5 kilowatt – c'est en gros six fois plus qu'avec le même poids de cellules actuelles en silicium cristallin. Le CIGS est de surcroît plus résistant aux radiations – un autre atout pour son utilisation dans l'espace.