

Aus Eins mach Zwei

Solarzellen mit Photonen-Teiler arbeiten effizienter

Birgit Bomfleur, ScienceUp Sturm und Bomfleur GbR
Camerloherstraße 19, 85737 Ismaning
www.ScienceUp.de

Solarzellen liefern sauberen Strom, sind aber nicht ganz billig. Die Lösung: Mit einem Photonen-Teiler (down-converter) wird ein energiereiches Photon in zwei energieärmere Photonen gespalten. Dadurch lässt sich der Wirkungsgrad - also welcher Teil der eingestrahnten Sonnenenergie in elektrische Energie umgewandelt werden kann - um etwa 1/3 gegenüber herkömmlichen Solarzellen erhöhen.

Wie die Zukunft des Solarstroms in Deutschland verlaufen wird, hängt entscheidend von der Bundestagswahl ab. Bei einem Machtwechsel wäre die Förderung von Solarstrom massiv gefährdet.

Die erste Generation

Laut einer Studie von PHOTON International [1] wurden im letzten Jahr weltweit Solarzellen mit einer Leistungskapazität von 401,4 Megawatt hergestellt. Das entspricht einer Steigerung von 39,7 Prozent gegenüber dem Jahr 2000. Solarzellen aus kristallinem Silizium (mono- und polykristallin) - sogenannte Wafer - sind mit 84,8 Prozent marktführend. Silizium-Wafer zeichnen sich durch hohe Wirkungsgrade (monokristallin: 25 - 30 Prozent) und eine hohe Zuverlässigkeit aus. Zudem gibt es den Rohstoff Silizium wie Sand am Meer. Allerdings sind diese Solarzellen recht teuer. Zum einen sind die Wafer rund 0,3 Millimeter dick und verursachen hohe Materialkosten. Zum anderen ist die Produktionstechnik sehr aufwändig.

Und noch etwas: Der oben angegebene Wirkungsgrad wurde nur im Labor und nur für eine einzelne Solarzelle erzielt. Die Module, die Sie letztendlich auf Ihrem Dach montieren und die aus mehreren Solarzellen bestehen, besitzen Wirkungsgrade zwischen 13 - 18 Prozent.

Solarzellen im Sonderangebot

In den letzten Jahren hat sich die Dünnschicht-Solarzelle auf dem Markt behaupten können, die man zur zweiten Generation zählt. Eine hauchdünne Schicht eines Halbleiters wird auf einen preisgünstigen Träger wie Glas, Stahl oder Kunststoff aufgedampft. Überwiegend wird amorphes (nichtkristallines) Silizium als Halbleitermaterial eingesetzt. Der Wirkungsgrad dieser Dünnschichtzellen ist sehr gering. Im Labor werden um die 13 Prozent erreicht, bei den Modulen liegt er zwischen 5 - 8 Prozent. Dünnschicht-Solarzellen benötigen also eine größere Fläche, um die gleiche

Leistung wie Wafer-basierte Solarzellen zu liefern. Der Material- und Energieaufwand für die Herstellung fällt jedoch deutlich geringer aus. Statt Silizium werden etwa auch Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) oder Cadmium-Tellurid (CdTe) verwendet. CdTe hat zwar einen hohen Wirkungsgrad, das Cadmium ist aber giftig.

Leistungssport der dritten Generation

Die Senkung der Produktionskosten allein genügt nicht, der Wirkungsgrad darf nicht aus den Augen verloren werden. In einer Solarzelle bzw. in dem Modul treten verschiedene Verlustmechanismen auf. Optische Verluste durch Abschattung, Reflexion der einfallenden Strahlung, elektrische Verluste im Halbleiter oder in den Anschlüssen, Materialverunreinigungen, Oberflächeneffekte oder Kristalldefekte setzen dem Wirkungsgrad gewisse Grenzen.

Wir interessieren uns im Folgenden dafür, wie eine Solarzelle das Sonnenlicht optimal nutzen kann. Sonnenlicht besteht aus einem breiten Spektrum von Photonen unterschiedlicher Energie. Eine Solarzelle kann jedoch nur die Photonen ausnutzen, deren Energie ausreicht, um Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband anzuregen [2]. Photonen mit zu geringer Energie rasen unverrichteter Dinge durch die Zelle. Photonen, deren Energie über der Bandlücke liegt, geben die Überschuss-Energie in Form von Wärme an das Gitter des Halbleiters ab. Es gibt verschiedene - zum Teil schon marktreife - Möglichkeiten, diese Photonen dennoch zu nutzen.

In der Tandem-Zelle etwa werden zwei Zellen mit unterschiedlicher Bandlücke übereinander angeordnet, wodurch ein breiteres Spektrum des Sonnenlichtes ausgenutzt wird. Die japanische Kaneka Corporation bietet eine Tandem-Zelle an, in der eine amorphe Siliziumschicht und eine zweite Schicht aus mikrokristallinem Silizium kombiniert wird. Die Bandlücken betragen etwa 1.7 eV bzw. 1.1 eV ($1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$), so dass die eine Schicht den sichtbaren (roten) und die andere Schicht den infraroten Teil des Sonnenspektrums nutzt.

Der Wirkungsgrad von Modulen aus Silizium-Tandem-Zellen beträgt beachtliche 11-12 Prozent [3]. Beachtlich deshalb, weil diese Zellen wie einzelne Dünnschicht-Solarzellen sehr günstig produziert werden können. Es können übrigens auch mehr als zwei Halbleiter-Schichten kombiniert werden. Mit der Anzahl der eingesetzten Schichten steigt auch der Wirkungsgrad.

Der Photonen-Teiler

In einer kürzlich erschienenen Arbeit schildern deutsche und australische Forscher eine interessante Möglichkeit, energiereiche Photonen doppelt zu nutzen [4]: Die Verwendung der „down-conversion“-Technik modifiziert das Sonnenlicht, bevor es von der Solarzelle absorbiert wird. Ein Photon, dessen Energie mindestens zweimal so groß ist wie die der Bandlücke in der Solarzelle, fällt auf einen Photonen-Teiler

(Abb. 1). Dieser besteht aus einem Drei-Niveau-System. Natürlich besitzt der Photonen-Teiler weitere Energieniveaus, aber die interessieren uns hier nicht. Das einfallende Photon wird absorbiert und schubst ein Elektron aus dem unteren in das obere Niveau (Abb. 1a). Das Elektron kehrt kurze Zeit später natürlich wieder in den energieärmeren unteren Zustand zurück. Aber nicht auf dem gleichen Weg. Es macht einen kurzen Zwischenstopp auf einem dazwischen liegenden Niveau. Dabei wird ein energieärmeres Photon mit der Energie E_b abgegeben (Abb. 1b). Im Fachjargon: Das Photon wird emittiert. Im nächsten Schritt hüpfet das Elektron in das untere Niveau zurück und gibt dabei ein zweites Photon der Energie E_c ab (Abb. 1c). Beide Photonen werden in die Solarzelle gelenkt. Da sie nun die „richtige“ Energie besitzen, um dort Elektronen aus dem Valenz- in das Leitungsband anzuregen, können beide Photonen zur Stromerzeugung beitragen (Abb. 1d).

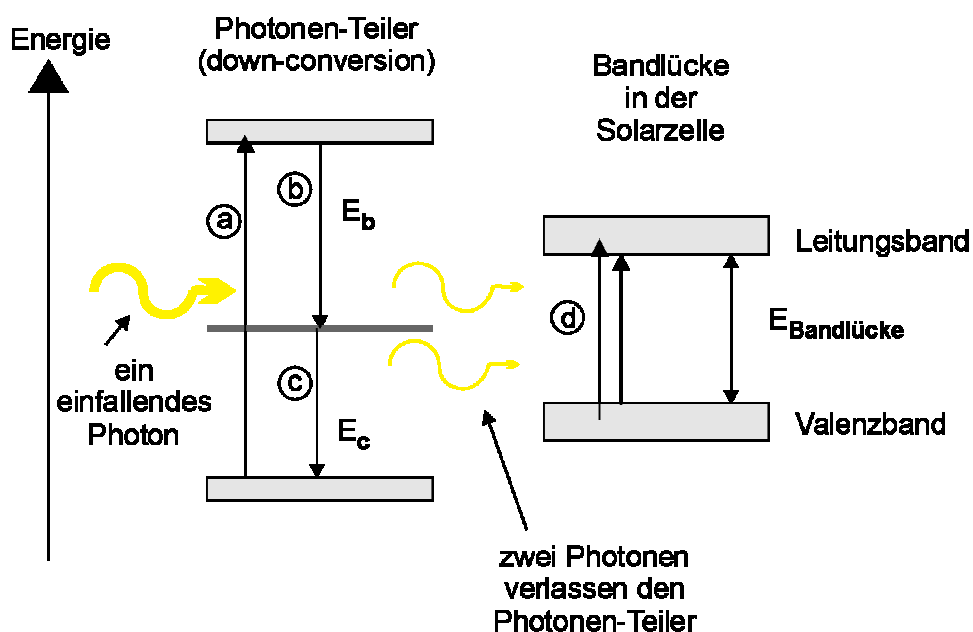


Abbildung 1: Funktionsweise des Photonen-Teilers

Laut Peter Würfel von der Universität Karlsruhe und seinen australischen Kollegen kann der Wirkungsgrad von 30,9 Prozent für eine Standard-Zelle unter vergleichbaren Bedingungen auf 39,63 Prozent (berechnete Werte) erhöht werden. Als Material für den Photonen-Teiler eignen sich nach Angaben der Forscher zum Beispiel Aluminium-Arsenid oder Gallium-Phosphid. Diese sind wie Silizium Halbleiter und besitzen ein Valenz- und Leitfähigkeitsband (das untere und obere Niveau in Abb. 1). Das mittlere Niveau kann durch Verunreinigungen hervorgerufen werden.

Den genannten Wirkungsgrad erreichen Zellen, bei denen sich der Photonen-Teiler auf der Rückseite der Solarzelle befindet. Viele Halbleiter lassen die energiereichen

Photonen allerdings nicht passieren. Somit müsste man auf andere Solarzellen-Arten ausweichen. Farbstoff-Solarzellen wären geeignete Alternativen, aber es geht noch besser: Man kann den Photonen-Teiler auch auf die Vorderseite der Zelle anbringen (Abb. 2). Somit können sogar existierende Solarzellen damit ausgestattet werden. Einige für die Solarzelle „passende“ Photonen gehen dabei zwar verloren, aber der Wirkungsgrad würde immer noch bei stolzen 38,6 Prozent liegen.

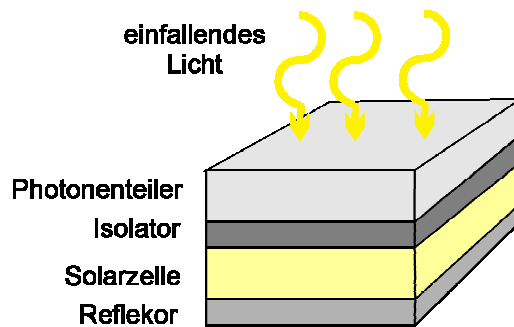


Abbildung 2: Aufbau einer Solarzelle mit vorgeschaltetem Photonen-Teiler

Übrigens lässt sich die ganze Prozedur auch umdrehen. In einem sogenannten „up-converter“ werden zwei energiearme Photonen in ein energiereiches Photon umgewandelt [5]. Man muss den Prozess in Abb. 1 nur rückwärts ablaufen lassen. Ein energiearmes Photon schiebt ein Elektron in ein mittleres Niveau. Ein zweites energiearmes Photon sorgt dafür, dass das Elektron weiter in das obere Niveau springt. Wenn es von dort in das untere Niveau zurückkehrt, emittiert es ein Photon mit einer Energie, die der Summe der Energien der einfallenden Photonen entspricht. Natürlich muss in diesem Fall die Energiedifferenz zwischen dem unteren und oberen Niveau in etwa der Bandlücke in der Solarzelle entsprechen, um das erzeugte Photon zur Stromerzeugung einzusetzen. Mit der up-conversion-Technik kann man den energieärmeren Teil des Sonnenspektrums ausnutzen.

Förderprogramme in Gefahr

Der Preis für Solarstrom liegt noch deutlich über den Marktpreisen. Die Bundesregierung fördert den Einsatz von Fotovoltaik-Anlagen mit dem EEG (Erneuerbare-Energie-Gesetz). Die Nutzung der Sonnenenergie ist aber „mehr als ein netter Beitrag zum Klimaschutz“, so Carsten König, Geschäftsführer der Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft (UVS) [6]. Die deutsche Solarindustrie besitze mittlerweile eine technologie- und beschäftigungspolitische Bedeutung.

Auch wenn die Stimmen aus den beiden C-Parteien gegen das EEG vor der Bundestagswahl leiser und seltener werden, gibt es doch weiterhin Anzeichen dafür, dass sie das EEG im Falle eines Wahlsieges kürzen wollen. Der wirtschaftspolitische

Sprecher der CDU/CSU-Bundestagsfraktion, Matthias Wissmann, äußerte gegenüber der Financial Times Deutschland, dass „wir gezwungen sein werden, die Förderungen der erneuerbaren Energien Zug um Zug umzustellen“. Dies betreffe laut FAZ vor allem die Betreiber von Fotovoltaik- und Windenergie-Anlagen [7].

Birgit Bomfleur

Literatur

- [1] M. Schmela, J. Siemer, Photon, April 2002, Seite 32.
- [2] B. Bomfleur, Quanten.de-Newsletter Mai/Juni 2002, ISSN 1618-3770.
- [3] H. Meier, Vortragsunterlagen vom Vortrag am 2002-04-23 im Rahmen der Reihe NACHHALTIGE ENERIE-TECHNIK BUCHS am NTB, www.ntb.ch/WB/2002/VortragsreiheEnergie.
- [4] T. Trupke, M.A. Green, P. Würfel, Journal of Applied Physics 92, 1668 (2002).
- [5] T. Trupke, M.A. Green, P. Würfel, QUANTSOL 2002, Rauris, Austria, March, 2002.
- [6] J. Bernreuter, Photon, September 2002, Seite 20.
- [7] T. Krägenow, Financial Times Deutschland, 23. Juli 2002.

© 2002 ScienceUp Sturm und Bomfleur GbR, Alle Rechte vorbehalten. Nicht-kommerzieller Nachdruck und Wiedergabe gestattet bei Quellenangabe ScienceUp Sturm und Bomfleur GbR, www.ScienceUp.de.