

Abs	NZZ (9.10.2013)	VDI Nachrichten (11.10.2013)	Abs
	<b>Hauchdünne Wafer senken den Materialbedarf für Silizium-Solarzellen</b> (Sascha Rentzing)	Photovoltaik <b><u>Dünnere Solarzellen sparen bei gleicher Leistungsfähigkeit teures Material</u></b> (Sascha Rentzing)	
		Über Siliziumersparnisse die Kosten für Solarstrom senken, ohne dabei an Effizienz zu verlieren, hatte bisher wenig Bedeutung. Doch in den Laboren setzt ein Umdenken ein. Auf dem Branchenkongress European Solar Energy Conference (EU PVSec) in Paris zeigten Wissenschaftler letzte Woche neue Konzepte für um ein Vielfaches dünnere Siliziumzellen.	0
1	Siliziumwafer, die zu Solarzellen verarbeitet werden, sind derzeit <b>rund</b> 180 Mikrometer dick und machen mit 15 bis 20 Eurocent pro Watt erbrachter Leistung <b>etwa ein Drittel der Kosten eines fertigen Solarmoduls aus.</b>	<b>Monokristalline Siliziumwafer, die zu Solarzellen verarbeitet werden, sind derzeit durchschnittlich 180 µm dick und machen mit 0,15 €/W bis 0,20 €/W etwa ein Drittel der Kosten eines fertigen Solarmoduls aus.</b>	1
		Um die Kosten zu senken, verlegte sich die Photovoltaikindustrie bisher vor allem auf die Verbesserung des Wirkungsgrades der Zellen. Doch mit zunehmender Technologiereife werden Effizienzgewinne immer schwieriger.	2
	<b>Forscher suchen deshalb nach Wegen, teures Silizium zu sparen, ohne dabei Einbussen beim Wirkungsgrad hinnehmen zu müssen.</b>	<b>Wissenschaftler suchen daher nach Wegen, teures Halbleitermaterial einzusparen, ohne an Wirkungsgrad einzubüßen. Der maßgebliche Effizienzgewinn soll also aus dem Fertigungsprozess kommen, nicht mehr aus der Stromerzeugung.</b>	
	An einer Photovoltaik-Konferenz in Paris <b>hat das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) vergangene Woche ein neues Produktionsverfahren für Hybridmodule vorgestellt, das den Materialbedarf mindestens um das Sechsfache senkt.</b>	<b>Das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) hat ein neues Produktionsverfahren für sogenannte Dünnschicht-/Wafer-Silizium-Hybridmodule (HySi-Module) entwickelt, das den Halbleiterbedarf um mindestens 88 % reduziert.</b>	4
2	<b>Die Neuerung vereint die Vorzüge leistungsfähiger Siliziumzellen mit günstiger Dünnschichttechnik.</b>	<b>Die neuesten Zellenkonzepte, die Anfang Oktober auf dem internationalen Photovoltaikkongress EU PVSec in Paris gezeigt wurden, vereinen die Vorzüge leistungsfähiger Siliziumzellen mit günstiger Dünnschichttechnik.</b>	3
	Mithilfe von sogenanntem Ätzstrom werden von einem herkömmlichen Wafer aus monokristallinem Silizium hauchdünne Schichten abgetrennt, um sie später als Lichtabsorber in Dünnschichtmodulen zu nutzen.	Die dünnere Absorberschicht erlaubt Einsparungen bei Material- und Prozesskosten.	
	<b>Die Wissenschaftler erzeugen in 5 bis 20 Mikrometern Tiefe des Wafers Sollbruchstellen, indem sie Makroporen in das Substrat ätzen.</b>	<b>"Wir erzeugen in 5 µm bis 20 µm Tiefe des Wafers Sollbruchstellen, indem wir elektrochemisch Makroporen in das Substrat ätzen", erklärt ISFH-Leiter Rolf Brendel den sogenannten Mac-PSI-Prozess (Macro-Porous Silicon). Dabei werden elektrochemisch Vertiefungen in die Waferoberfläche geätzt, diese dann, so das ISFH "durch geeignete Prozessführung" in der Tiefe erweitert.</b>	5

Abs	NZZ (9.10.2013)	VDI Nachrichten (11.10.2013)	Abs
		Es entsteht in der Tiefe dann eine Art Perforationsschicht. So lassen sich dann hauchdünne Schichten von einem herkömmlichen Wafer aus monokristallinem Silizium abtrennen, um sie später als Absorber in Dünnschichtmodulen zu nutzen.	6
	Bei der Trennung des Absorbers entsteht eine raue Oberfläche mit pyramidenförmigen Erhebungen.	Bei der Trennung des Absorbers entsteht auf der dem Mutterwafer zugewandten Seite eine raue Oberfläche mit pyramidenförmigen Erhebungen.	7
	Sie bildet die spätere Vorderseite der Zelle, da die Pyramiden gut geeignet sind, Licht in die Zelle zu lenken und Reflexionsverluste zu vermindern.	Sie bildet die spätere Zellvorderseite. Denn die Pyramiden sind gut geeignet, Licht in die Zelle zu lenken und Reflexionsverluste zu vermindern.	
3	Anschliessend wird der abgetrennte Lichtabsorber auf einen günstigen Träger wie Glas geklebt.	Anschließend wird der abgetrennte Absorber auf einen Träger wie Glas geklebt.	8
	Die Zelle ist nun stabil genug für die noch ausstehenden Prozessschritte, etwa die Kontaktierung der Frontseite oder das Aufbringen einer Barrierschicht aus amorphem Silizium. Diese Schicht dient dazu, Ladungsträgerverluste an der Oberfläche des Absorbers zu verhindern.	Die Zelle ist nun stabil genug für die noch ausstehenden Prozessschritte wie die Frontkontaktierung oder das Aufbringen einer Barrierschicht aus amorphem Silizium. Eine solche Schicht dient dazu, Ladungsträgerverluste an der Oberfläche des Absorbers zu verhindern.	
4	Als Verbindungsmaterial von Lichtabsorber und Glas dient Aluminium. Die Aluminiumschicht zwischen den beiden Komponenten wird mit einem Laser oder mit Halogenlampen erhitzt, so dass die beiden Komponenten miteinander „verbacken“. Ausserdem übernimmt das Aluminium die Funktion des rückwärtigen Kontakts, der die generierten Ladungsträger aus der Zelle leitet.	Als Verbindungsmaterial von Absorber und Glas dient Aluminium. Die Aluminiumschicht zwischen den beiden Komponenten wird mit einem Laser oder mit Halogenlampen erhitzt, so dass die beiden Komponenten miteinander "verbacken". Außerdem übernimmt das Aluminium die Funktion des rückwärtigen Kontakts, der die erzeugten Ladungsträger aus der Zelle leitet.	9
	Rolf Brendel, der Leiter des ISFH, hält es für möglich, auf diese Weise hocheffiziente Zellen mit einem Wirkungsgrad von mehr als 20 Prozent herzustellen. Erste Laborzellen erreichen 13,1 Prozent Effizienz.	Der MacPSI-Prozess mache Hocheffizienzzellen von mehr als 20 % Wirkungsgrad möglich, sagt Brendel. Somit wären diese gleichauf mit Zellen aus dickerem monokristallinen Silizium. Erste Laborzellen erreichten 13,1 % Effizienz.	10
		Die US-Firma Solixel verfolgt einen anderen Ansatz zur Herstellung von Silizium-Dünnschichtzellen. Bei ihrem – ebenfalls am ISFH entwickelten – PSI-Prozess (Porous Silicon) entsteht der Absorber auf einem wiederverwendbaren monokristallinen Substratwafer mit einer porös strukturierten Beschichtung. Um die photoaktive Schicht herzustellen, wird Trichlorsilan aus der Gasphase 35 µm dick auf dem Substrat abgeschieden. Es ist unter Standardbedingungen flüssig wird es mit Wasserstoff thermisch zersetzt, wächst auf der Siliziumvorlage ein hochreiner Siliziumfilm.	11
		Dabei orientieren sich die wachsenden Kristalle	12

Abs	NZZ (9.10.2013)	VDI Nachrichten (11.10.2013)	Abs
		in ihrer Ausrichtung an der Kristallstruktur der einkristallinen Vorlage. Ein spezielles Werkzeug trennt den Absorber anschließend vom Substrat, so dass die Dünnschichtzelle fertig prozessiert und das mehr als 50-mal wiederverwendbare Substrat einem neuen Prozess zugeführt werden kann.	
		"In unserer Pilotproduktion fertigen wir bereits Zellen mit über 20 % Wirkungsgrad. Da wir auf die teuren Prozessschritte der klassischen Silizium-Wertschöpfungskette wie Kristallisationsschritte und Sägeprozesse verzichten, senken wir erheblich die Produktionskosten", erklärt Solexel-Technikchef Mehrdad Moslehi.	13
		Solexel will 2014 in einer neuen Großproduktion Module für rund 0,30 €/W herstellen. Die durchschnittlichen Produktionskosten für monokristalline Solarmodule liegen mit 0,50 €/W bis 0,60 €/W derzeit fast beim Doppelten.	14
		Doch es wird wohl nicht leicht werden, die nur 35 µm dicken Zellen in die Serienfertigung zu überführen. Die schlanken Stromgeneratoren können leicht brechen. Daher müssen die Barrierschichten und Kontakte schonend mit speziellen Verfahren aufgebracht werden.	15
5	Eine andere innovative Methode, um Silizium zu sparen, verfolgen Forscher des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg. Statt einem dicken Siliziumwafer verwenden sie ein Substrat aus günstigem Siliziumpulver und eine relativ dünne photoaktive Siliziumschicht.	Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg und das französische Start-up S'Tile stellten in Paris eine ähnliche Methode vor, um Silizium zu sparen. Sie nutzten ein Substrat aus günstigem Siliziumpulver und beschichteten es mit einer photoaktiven Siliziumschicht.	16
		Hier ist das Substrat Bestandteil der Zelle. Es hat die Aufgabe, im Absorber erzeugte Ladungsträger zu den rückseitigen Kontakten zu leiten.	17
	Im Labor erreichten die Zellen 14 Prozent Wirkungsgrad, erklärt Andreas Bett, stellvertretender Leiter des Instituts.	Im Labor erreichen die Zellen 14 % Wirkungsgrad, erklärt Andreas Bett, stellvertretender Leiter des ISE.	
		S'Tile ist für die Herstellung des Substrats zuständig.	18
6	Für die Herstellung des Substrats wird Rohsilizium zunächst leicht gereinigt, dann pulverisiert und schließlich unter Hochdruck zu einer etwa 200 Mikrometer dicken Schicht gepresst.	Einfaches Rohsilizium wird leicht gereinigt, pulverisiert und dann unter Hochdruck zu einer etwa 200 µm dicken Schicht verpresst.	
	Um den Absorber herzustellen, wird Trichlorsilan aus der Gasphase 20 Mikrometer dick auf dem Substrat abgeschieden. Trichlorsilan entsteht durch Reaktion von Chlorwasserstoff mit Silizium bei hohen Temperaturen und liegt unter	Die ISE-Wissenschaftler stellen den Absorber her, indem sie Trichlorsilan 20 µm dick auf dem Substrat abscheiden.	

Abs	NZZ (9.10.2013)	VDI Nachrichten (11.10.2013)	Abs
	Standardbedingungen als flüssige Verbindung vor. Wird es mit Wasserstoff thermisch zersetzt, wächst auf der Zelle ein hochreiner Siliziumfilm.		
	Bett sagt, dass die Technik ähnliche Wirkungsgrade wie eine herkömmliche monokristalline Zelle erreichen könne, sich aber rund 40 Prozent günstiger fertigen lasse. Bei konsequenter Weiterentwicklung sei die industrielle Fertigung bereits in zwei bis drei Jahren möglich.	Andreas Bett sagt, dass die Technik Wirkungsgrade wie eine herkömmliche monokristalline Zelle erreichen kann, sich aber rund 40 % günstiger fertigen lässt. Bei konsequenter Weiterentwicklung sei die industrielle Fertigung bereits in zwei bis drei Jahren möglich.	19