

Abs	VDI Nachrichten (26.8.2011)	Neue Energie (10 / 2011)	Abs
	Photovoltaik: Neue Fertigungsart des Siliziums senkt Kosten für Solarstrom (Sascha Rentzing)	Quasi-Mono (Sascha Rentzing)	
0	Zurzeit bringen Photovoltaik hersteller einen dritten Typ von Siliziumabsorbieren auf den Markt. Er wird wie einfaches multikristallines Material hergestellt, hat aber weitgehend monokristalline Eigenschaften und weist somit weniger der für die Energiegewinnung hinderlichen Kristalldefekte auf. Dadurch lässt sich mit vergleichsweise geringem Zusatzaufwand die Leistung von Solarmodulen deutlich steigern.	Die Photovoltaik industrie will die Solarstromkosten mit einem neuen Halbleiter deutlich senken. Er wird wie einfaches multikristallines Silizium hergestellt, hat aber die Eigenschaften des höherwertigen monokristallinen Materials.	0
		Beiläufig verkündete Philippe Lay auf der europäischen Photovoltaik- und Solarmesse EU PVSEC im September in Hamburg ein unbescheidenes Vorhaben: Mit einem neuen Typ Siliziumabsorber will sein Unternehmen, der Vakuumöfen-Hersteller ECM Technologies aus dem französischen Grenoble, den Wirkungsgrad von Solarzellen um mindestens einen Prozentpunkt steigern. Nur zum Vergleich: Das wäre ein Effizienzgewinn, für den die Branche im Schnitt über drei Jahre braucht. "Wir haben ein Verfahren zur Herstellung von Siliziumblöcken entwickelt, das Strukturfehler im Halbleiterkristall reduziert", erklärt der Produktionsdirektor.	1
1	Die Neuerung stammt aus Asien – wieder einmal. Das chinesische Unternehmen Ja Solar hat eine Solarzelle entwickelt, die mit durchschnittlich 17,5 % Wirkungsgrad exakt einen Prozentpunkt mehr Sonnenlicht in Strom umwandelt als ihre bisher gängigen Zellen aus multikristallinem Silizium. Ein neues Verfahren zur Herstellung der Siliziumbarren – Ingots genannt – reduziert Strukturfehler im Kristall . An diesen Defekten rekombinieren durch das Sonnenlicht erzeugte Ladungsträger und gehen so für die Stromproduktion verloren.	Strom fließt in einer Zelle nur unter einer Bedingung: Die durch Sonnenlicht freigesetzten negativ geladenen Elektronen müssen die Kontakte auf der Vorderseite und die positiv geladenen Freistellen, die durch das Abwandern der Elektronen entstehen - die so genannten Elektronenlöcher -, den Rückkontakt erreichen. Die größten Verluste entstehen dadurch, dass sich Elektronen und Löcher an Stellen mit Unregelmäßigkeiten im Halbleiterkristall wieder neutralisieren, im Fachjargon: rekombinieren .	2
2	Die Innovation beruht darauf, die Siliziumblöcke, aus denen das Solarzellenmaterial geschnitten wird – die sogenannten Ingots – anders herzustellen als bisher.	ECM verringert diese Verluste, indem es Siliziumblöcke, die Ingots, aus denen die Wafer geschnitten werden, anders produziert als bisher üblich.	3
	Das Prinzip: ein überwiegend monokristalliner Ingot wird in einem ursprünglich für die Produktion multikristalliner Ingots vorgesehen Schmelztiegel hergestellt.	Der Ansatz: Ein überwiegend monokristalliner Ingot wird in einem ursprünglich für die Produktion multikristalliner Ingots vorgesehenen Schmelztiegel hergestellt.	
3	"Wir kombinieren die Vorteile des multikristallinen Blockgusses mit den Merkmalen monokristalliner Ingots", erklärt Philipp Matter , Vizechef von Ja Solar Deutschland. Monokristalline Solarzellen bieten eine höhere Effizienz, sind aber wegen der aufwendigen Ingot-Fertigung teurer. Ein Impfkristall wird dabei	"Wir kombinieren die Vorteile des multikristallinen Blockgusses mit den Merkmalen monokristalliner Ingots", erklärt Lay . Monokristalline Zellen bieten eine höhere Effizienz, sind aber wegen der aufwendigen Ingot-Fertigung teurer. Ein Impfkristall wird dabei in geschmolzenes Silizium getaucht und unter	

Abs	VDI Nachrichten (26.8.2011)	Neue Energie (10 / 2011)	Abs
	nämlich in geschmolzenes Silizium getaucht und unter langsamen Drehbewegungen wieder herausgezogen.	langsamen Drehbewegungen wieder herausgezogen.	
	Dabei wächst ein zylindrischer Einkristall mit 2 m Länge und bis zu 30 cm Durchmesser, der anschließend noch quadratisch geschnitten werden muss, ehe er in Scheiben gesägt werden kann.	So wächst, unter hohem Energieeinsatz, ein zylindrischer Einkristall mit zwei Meter Länge und bis zu 30 Zentimeter Durchmesser. Der muss quadratisch geschnitten werden, ehe er in Scheiben gesägt werden kann.	
4	Ja Solar umgeht das aufwendige Züchten und Bearbeiten des Einkristalls. Silizium wird in einem Tiegel geschmolzen und anschließend kontrolliert abgekühlt. Beim gängigen Blockgussverfahren für multikristalline Ingots richten sich die Kristalle unterschiedlich aus. In ihren Zwischenräumen entstehen sogenannte Korngrenzen – jene Defekte, die die Stromausbeute schmälern.	ECM umgeht das aufwendige Züchten und Bearbeiten des Einkristalls. Silizium wird in einem speziellen Tiegel geschmolzen und anschließend kontrolliert abgekühlt. Beim Blockguss für multikristalline Ingots richten sich die Kristalle unterschiedlich aus. In ihren Zwischenräumen entstehen so genannte Korngrenzen - jene Unregelmäßigkeiten, die die Stromausbeute schmälern.	4
5	Ja Solar präpariert den Tiegelboden deshalb mit einer Platte aus monokristallinem Silizium als Saatkristall. Beim Abkühlen kristallisiert der Halbleiter an diesem Kristall aus und übernimmt weitgehend dessen Orientierung. "Das ergibt höherwertiges Material bei fast gleichbleibenden Produktionskosten", verspricht Matter.	Die Franzosen präparieren den Tiegelboden darum mit einer Platte aus monokristallinem Silizium als Saatkristall. Beim Abkühlen kristallisiert der Halbleiter an diesem Kristall aus und übernimmt weitgehend dessen Orientierung. "So erhalten wir reineres Material, ohne die Produktionskosten zu erhöhen", erklärt Lay.	
		Kristallchaos beseitigt	
	Mit der Zwittertechnik forciert Ja Solar das Tempo im Innovationswettbewerb der Solarhersteller weiter. Sie müssen schnell Kosten senken, weil wegen des rapiden Wachstums der Photovoltaik zuletzt fast alle Länder mit Einspeisevergütung für Solarstrom diese Förderung gekürzt haben.	Mit Quasi-Mono beteiligt sich der französische Maschinenbauer an einem Effizienz-Wettbewerb, bei dem chinesische Solarkonzerne schon vorgelegt haben. JA Solar arbeitet bereits mit dem neuen Halbleiter und stellte auf der PVSEC erstmals seine neuen Maple-Module mit 250 und 300 Watt Leistung vor, die mit 60 und 72 Quasi-Mono-Zellen ausgestattet sind. Die Zellen wandeln mit durchschnittlich 17,5 Prozent Wirkungsgrad exakt einen Prozentpunkt mehr Licht in Strom um als bisher gängige multikristalline Zellen des Unternehmens, erklärte Deutschland-Vize Philipp Matter in Hamburg. Die Chinesen stellen ihr Quasi-Mono in einem eigens entwickelten Verfahren selbst her, bei dem - wie bei ECM - ein Saatkristall im Tiegel die Kristallisationsrichtung vorgibt.	5
		Auch Suntech setzt auf das Geschäft mit den neuartig gefertigten Siliziumscheiben. Seit diesem Sommer bietet der chinesische PV-Konzern seine Black-Pearl-Module mit 250 Watt Leistung aus Quasi-Mono-Zellen an, die zehn Prozent effizienter arbeiten sollen als Suntechs bisherige multikristallinen Zellen. Unternehmenstochter Rietech Solar, ebenfalls aus China, liefert die Wafer.	6
		Der neue Quasi-Mono-Halbleiter verspricht Hoffnung für die um Kostenersparnisse ringenden Solarfirmen. Die Marktbedingungen sind härter	7

Abs	VDI Nachrichten (26.8.2011)	Neue Energie (10 / 2011)	Abs
		denn je: Während die Modulnachfrage infolge von Förderkürzungen in einigen europäischen Solarmärkten nur noch langsam wächst, werden vor allem in Asien weiterhin gewaltige Fabriken aus dem Boden gestampft.	
6	Der europäische Solarindustrieverband EPIA rechnet 2011 mit einem Rückgang der weltweiten Neuinstallationen um 20 % auf 13 300 MW. Daraus ergibt sich für die Branche ein großes Problem: Im Glauben an einen dauerhaften Boom haben im vorigen Jahr viele Hersteller Investitionsentscheidungen für neue Fabriken getroffen. Jetzt, da der Kapazitätsausbau im vollen Gange ist oder Investitionsentscheidungen nicht mehr rückgängig zu machen sind, sinkt die Photovoltaiknachfrage. Das heißt: Viele Werke lassen sich nicht voll auslasten.	Der US-Marktforscher iSuppli schätzt, dass die weltweiten Fertigungskapazitäten dieses Jahr um mehr als 50 Prozent auf 35 Gigawatt (GW) anschwellen werden - bei nur 20 bis 27 GW Absatz. Das heißt: Nur zwischen 57 und 77 Prozent der verfügbaren Kapazitäten sind voraussichtlich ausgelastet. "Einige Firmen werden sicher vom Markt verschwinden", prophezeit iSuppli-Analyst Stefan de Haan.	
		Lohnt der Aufwand?	
7	Ja Solar will mit seinem Quasimono genannten Fertigungsprinzip die Nachfrage ankurbeln , indem es das Preis-Leistungs-Verhältnis seiner Module mit den neuen Wafern verbessert. Wissenschaftler überzeugt der Ansatz.	Die Hersteller können den Absatz ankurbeln , indem sie das Preis-Leistungs-Verhältnis ihrer Module mit Quasi-Mono verbessern. Wissenschaftler überzeugt der Ansatz.	8
8	"Die Temperatur muss genau kontrolliert werden. Das Silizium muss schmelzen, ohne dass der Saatkristall Schaden nimmt. Wenn das gelingt, ist Quasimono für die Photovoltaik interessant", sagt der Physiker Christian Peter, Vorstandsmitglied des International Solar Energy Research Center Konstanz.	"Die Temperatur muss genau kontrolliert werden. Das Silizium muss schmelzen, ohne dass der Saatkristall Schaden nimmt. Wenn das gelingt, ist Quasi-Mono für die Photovoltaik interessant", sagt der Physiker Christian Peter, Vorstandsmitglied des International Solar Energy Research Center Konstanz.	
9	Auch Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Siliziumsolarzellen – Entwicklung und Charakterisierung am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg, hält die Technik für "eine Option". "Die entscheidende Frage ist, wie viel Prozent des Ingots man für effizientere Zellen nutzen kann." Der Quasimono-Prozess erfordere mehr Aufwand als der Blockguss für multikristalline Ingots. Er mache daher nur Sinn, wenn die Kostenersparnisse durch die gesteigerte Leistung der Module die höheren Herstellungskosten wettmachen.	Auch Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Siliziumsolarzellen, Entwicklung und Charakterisierung am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Ise) in Freiburg, hält die Technik für "eine Option". "Die entscheidende Frage ist, wie viel Prozent des Ingots man für effizientere Zellen nutzen kann", merkt er an. Der Quasi-Mono-Prozess erfordere mehr Aufwand als der Blockguss für multikristalline Ingots. Er mache daher nur Sinn, wenn die Kostenersparnisse durch die gesteigerte Leistung der Module die höheren Herstellungskosten wettmachen.	
10	Ja Solar erntet nicht nur Topmaterial, denn beim Kristallwachstum im Tiegel entstehen Defekte.	Tatsächlich entsteht im Quasi-Mono-Prozess nicht nur Topmaterial, da sich beim Kristallwachstum im Tiegel Defekte nicht ganz vermeiden lassen. ECM-Entwickler Lay erklärt: Die Qualität des Halbleiters nimmt zum Rand des Blocks immer weiter ab. Das zeigt sich auch bei JA Solar:	9
	Nur 10 % der Quasimono-Ingots bestehen aus reinem monokristallinem Material, das die angepriesenen Zellen mit 17,5 % Effizienz ergibt. Zum Rand hin nimmt die Qualität des Halbleiters zulasten des Wirkungsgrads stetig ab. Etwa 80 % vom verbleibenden Block wiesen	Nur zehn Prozent der Quasi-Mono-Ingots bestehen aus reinem monokristallinem Material, das die angepriesenen Zellen mit 17,5 Prozent Effizienz ergibt. Zum Rand hin nimmt die Qualität des Halbleiters zulasten des Wirkungsgrads stetig ab. Etwa 80 Prozent vom verbleibenden Block	

Abs	VDI Nachrichten (26.8.2011)	Neue Energie (10 / 2011)	Abs
	Verunreinigungen durch multikristalline Körner auf, hätten aber noch monokristallinen Charakter, erklärt Matter.	wiesen Verunreinigungen durch multikristalline Körner auf, hätten aber monokristallinen Charakter, erklärt Matter.	
	Die restlichen 10 % Material direkt an der Tiegelwand seien schließlich nur noch multikristalline Qualität.	Die restlichen zehn Prozent Material direkt an der Tiegelwand seien schließlich nur noch multikristalline Qualität.	
11	Das multikristalline Material vom Tiegelrand sowie den reinen monokristallinen Stoff aus der Ingot-Mitte prozessiert Ja Solar standardmäßig zu multi- und monokristallinen Wafern. Die 80 % Halbleitermix verarbeitet das Unternehmen in einem speziellen Prozess zu Zwitterzellen, die es wegen ihrer Ahornstruktur seit Juni als "Maple" verkauft.	Dieses Material sowie den reinen monokristallinen Stoff aus der Ingot-Mitte prozessiert JA Solar standardmäßig zu multi- und monokristallinen Wafern. Die 80 Prozent Halbleitermix verarbeitet das Unternehmen in einem speziellen Prozess zu Zellen für seine neuen Maple-Module.	
12	Matter betont, dass sich die Quasimono-Herstellung trotz des zusätzlichen Aufwands bei der Kristallisation lohnt. Denn einerseits spare ein höherer Wirkungsgrad Kosten, da für die gleiche Energieausbeute weniger Fläche und Material benötigt werde, andererseits seien die Quasimono-Wafer vollquadratisch, was einen wichtigen produktionstechnischen Vorteil mit sich bringe. Um herkömmliche monokristalline Wafer rechteckig zu bekommen, müsse der zylinderförmige Einkristall erst einmal zurechtgesägt werden. "Das ist aufwendig und lässt viel Ausschuss anfallen."	Lay wie Matter betonen, die Quasi-Mono-Herstellung lohne sich trotz des zusätzlichen Aufwands bei der Kristallisation. Denn einerseits spare ein höherer Wirkungsgrad Kosten, da für die gleiche Energieausbeute weniger Fläche und Material benötigt werde. Andererseits seien die Quasi-Mono-Wafer vollquadratisch, was einen wichtigen produktionstechnischen Vorteil mit sich bringe. Um herkömmliche monokristalline Wafer rechteckig zu bekommen, müsse der zylinderförmige Einkristall erst einmal zurechtgesägt werden. Das sei aufwendig und lasse viel Ausschuss anfallen.	10
13	Auch andere chinesische Hersteller setzen aufgrund dieser Vorteile inzwischen auf das Geschäft mit den neuartig gefertigten Siliziumscheiben. Seit diesem Sommer bietet der chinesische Photovoltaikriese Suntech Power sogenannte "BlackPearl"-Module aus Quasimono-Wafern an. Waferproduzent Renesolar, ebenfalls aus China, liefert die Technik. Konkurrent LDK will den neuen Absorber auch bald anbieten. Deutsche Hersteller hingegen zeigen bisher kein Interesse.	Ein Erfolg von Quasi-Mono ist nicht garantiert, denn die Technik konkurriert mit vielen anderen Ansätzen zur Effizienzsteigerung. Besonders neue Halbleiter und Halbleiterkombinationen haben derzeit Konjunktur, etwa Zweischichtzellen aus monokristallinem und amorphem Silizium oder Zellen aus n-Typ-Silizium, einer speziellen monokristallinen Siliziumsorte, der besonders gute elektrische Eigenschaften zugesprochen werden (siehe Kasten). Die Suche nach kostensenkenden Innovationen verlagert sich von der Zellenebene auf die vorderen Stufen der solaren Wertschöpfungskette.	11