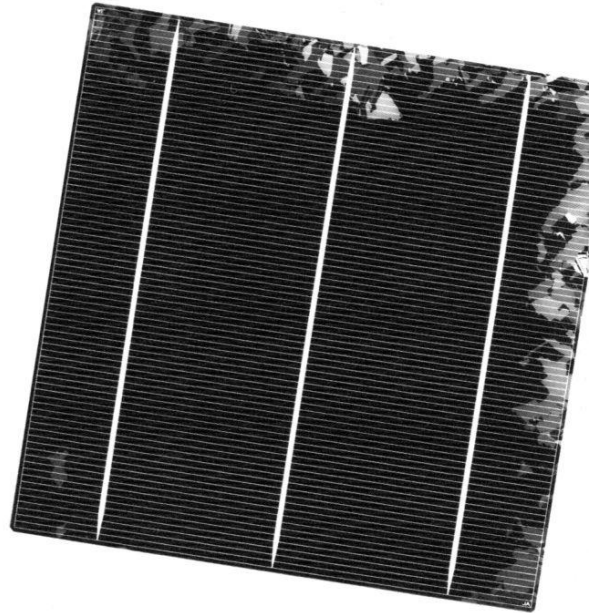


# Quasi-Mono

Die Photovoltaikindustrie will die Solarstromkosten mit einem neuen Halbleiter deutlich senken. Er wird wie einfaches multikristallines Silizium hergestellt, hat aber die Eigenschaften des höherwertigen monokristallinen Materials.



Text: Sascha Rentzing

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.

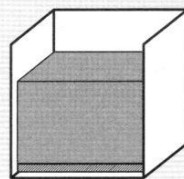
Strom fließt in einer Zelle nur unter einer Bedingung: Die durch Sonnenlicht freigesetzten negativ geladenen Elektronen müssen die Kontakte auf der Vorderseite und die positiv geladenen Freistellen, die durch das Abwandern der Elektronen entstehen – die so genannten Elektronenlöcher –, den Rückkontakt erreichen. Die größten Verluste entstehen dadurch, dass sich Elektronen und Löcher an Stellen mit Unregelmäßigkeiten im Halbleiterkristall wieder neutralisieren, im Fachjargon: rekombinieren.

ECM verringert diese Verluste, indem es Siliziumblöcke, die Ingots, aus denen die Wafer geschnitten werden, anders produziert als bisher üblich. Der Ansatz: Ein überwiegend monokristalliner Ingot wird in einem ursprünglich für die Produktion multikristalliner Ingots vorgesehenen Schmelztiegel hergestellt. „Wir kombinieren die Vorteile des multikristallinen Blockgusses mit den Merkmalen monokristalliner Ingots“, erklärt Lay. Monokristalline

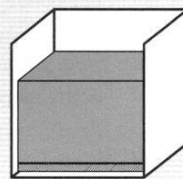
Zellen bieten eine höhere Effizienz, sind aber wegen der aufwendigen Ingot-Fertigung teurer. Ein Impfkristall wird dabei in geschmolzenes Silizium getaucht und unter langsamen Drehbewegungen wieder herausgezogen. So wächst, unter hohem Energieeinsatz, ein zylindrischer Einkristall mit zwei Meter Länge und bis zu 30 Zentimeter Durchmesser. Der muss quadratisch geschnitten werden, ehe er in Scheiben gesägt werden kann.

## Wie ein Quasi-Mono Ingot entsteht

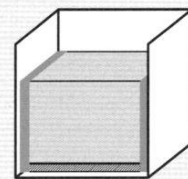
Blockgussverfahren statt energieaufwendiger Monokristallzüchtung



Tiegel wird mit Silizium gefüllt



Tiegel wird erhitzt. Der Saatkristall auf dem Boden muss vor dem Schmelzen geschützt werden.



Siliziumatome lagern sich am Saatkristall an – es entsteht vorwiegend monokristallines Silizium



**Mischgebäck:** Multikristalline Siliziumblöcke werden in großen Tiegeln gegossen. Der chinesische Hersteller Ja-Solar fügt Einkristalle hinzu und produziert daraus mono-multikristalline Zwitterzellen (siehe Freisteller links).

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. 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 Quasi-Mono beteiligt sich der französische Maschinenbauer an einem Effizienz-Wettlauf, bei dem chinesische Solarunternehmen 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.

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.

Der neue Quasi-Mono-Halbleiter verspricht Hoffnung für die um Kostenersparnisse ringenden Solarfirmen. Die Marktbedingungen sind härter denn je: Während die Modulnachfrage infolge von Förderkürzungen in einigen europäischen Solarländern nur noch langsam wächst, werden vor allem in Asien weiterhin gewaltige Fabriken aus dem Boden gestampft. 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?

Die Hersteller können den Absatz ankurbeln, indem sie das Preis-Leistungs-Verhältnis ihrer Module mit Quasi-Mono verbessern. Wissenschaftler überzeugen der Ansatz. „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. 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

Schoko oder Vanille? Früher konnte man am Eisstand oft nur zwischen zwei Sorten wählen. Das Gleiche galt bisher beim Silizium: Wer Standardzellen fertigen wollte, griff zu multikristallinem, wer höhere Effizienzen anstrebte, verwendete reineres monokristallines Material. Heute können Hersteller zwischen mehreren verschiedenen Siliziumsorten wählen, sind selbst Zellaufbauten aus kristallinem und Dünnschichtsilizium kommerziell verfügbar. So hat zum Beispiel Solarmaschinenbauer **Roth & Rau** ein Verfahren zur Produktion von Zweischichtzellen – so genannten Hetero-Junction-Zellen – entwickelt, die mehr als 20 Prozent erreichen sollen. Die neuen Vakuumbeschichter des Unternehmens bringen auf beiden Seiten eines monokristallinen Wafers amorphes Silizium auf. Auf der Vorderseite dient es als Emitter, der die generierten Elektronen rasch und sicher aus der Zelle zu den Frontkontakten leitet, auf der Rückseite dient es als Passivierschicht, die Oberflächenrekombination verhindert. Hier wirkt das amorphe Silizium als Barriere für Elektronen und sorgt so dafür, dass ihre Gegenstücke, die Löcher, ungehindert den Rückkontakt erreichen können. Ende 2011 sollen die Anlagen für die Zweischichtzellen verfügbar sein. Erfunden hat die Hetero-Junction-Technik der japanische Konzern **Sanyo**, der dafür bisher die Patente gehalten hat. Dessen Hit-Zellen zählen ne-

ben den Rückseitenksammlern der US-Firma Sunpower zu den weltweit effizientesten Lichtsammlern. Derzeit erreichen sie einen Wirkungsgrad von mehr als 21 Prozent, im Modul von fast 19 Prozent. Offensichtlich wollen nach Auslaufen des Patents nun viele Hersteller dem Erfolg der Japaner nahekommen. „Es gibt sehr starkes Interesse aus mindestens drei Kontinenten“, beschreibt Roth & Rau-Vertriebler Stephan Weißbach die Nachfrage nach den neuen Beschichtungsanlagen seines Unternehmens.

Der chinesische Solarkonzern **Yingli** begegnet Rekombination mit einem anderen Absorber, dem monokristallinen n-Typ-Silizium. Siliziumzellen bestehen aus zwei unterschiedlich dicken Bereichen, die sich in ihrer Leitfähigkeit unterscheiden. In Standardzellen ist die dickere untere Schicht mit Bor angereichert, um einen Überschuss positiver Ladungsträger zu erhalten, im oberen Emitter sorgt dagegen Phosphor für einen Überschuss negativer Ladungsträger. n-Typ-Zellen sind genau umgekehrt aufgebaut. Vorteil: Wegen seiner speziellen Atomeigenschaften neigt Bor weniger dazu, die generierten Ladungsträger zum Rekombinieren zu bringen, weshalb die Zellen eine höhere Effizienz erreichen. Das wiederum macht es möglich, mit billigerem Silizium zu arbeiten, das mehr Verunreinigungen enthält, oder Zellen mit höheren Effizienzen herzustellen.

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.

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: 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 wiesen Verunreinigungen durch multikristalline Körner auf, hätten

aber monokristallinen Charakter, erklärt Matter. Die restlichen zehn Prozent Material direkt an der Tiegelfwand seien schließlich nur noch multikristalline Qualität. Dieses Material sowie den reinen monokristallinen Stoff aus der Ingot-Mitte prozessiert JA Solar standardmäßig zu multi- und monokristallinen Wafeln. Die 80 Prozent Halbleitermix verarbeitet das Unterneh-

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.

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. ◀

”

### Wir kombinieren die Vorteile des multikristallinen Blockgusses mit den Merkmalen monokristalliner Ingots.“

Philippe Lay, ECM Technologies

men in einem speziellen Prozess zu Zellen für seine neuen Maple-Module.

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 Ma-