

# Protonenaxt für dünnes Silizium

Die US-Firma Silicon Genesis enthüllt nach und nach, wie ihre neue Methode zur Wafer-Produktion funktioniert

Vor einigen Monaten berichtete PHOTON über ein neues Verfahren zur Herstellung ultradünner Wafer, das zugleich den Siliziumausschuss heutiger Sägeverfahren verhindert.

Kürzlich konnten wir uns das Verfahren, bei dem Siliziumplatten per Protonen- und Laserstrahl gespalten werden, mit eigenen Augen anschauen.

Der Daggett Drive im kalifornischen San Jose führt durch ein Gewerbegebiet, doch er sieht aus wie ein Parkweg: Mächtige Grünstreifen säumen die Seiten, hohe Bäume wölben sich über den Asphalt. Links und rechts scheinen Gebäudekomplexe durchs Grün, die sich auf gepflegten Rasenflächen unter Bäume ducken. Es ist nicht ganz klar, ob es den Schöpfern dieses Gewerbegebiets einfach darum ging, eine möglichst inspirierende Arbeitsatmosphäre zu schaffen – oder ob sie vielmehr das Ziel hatten, die hier tätigen Firmen vor der Außenwelt zu verstecken. Dafür, dass man allzu viel Neugierde am Daggett Drive nicht mag, zeugen zumindest die verspiegelten Fenster vieler Gebäude.

Hinter einer dieser Scheiben sitzt Francois J. Henley in seinem Büro und gibt Einblicke in ein Verfahren, von dem man vielleicht einmal sagen wird, dass es die Produktion von Wafern revolutioniert hat – auch wenn es noch einige Jahre dauert, bis es serienreif ist. Denn es kann das verlustreiche Zersägen von Siliziumblöcken zu dünnen Wafern überflüssig machen und arbeitet überdies äußerst materialsparend: Henley, Präsident von Silicon Genesis (Sigen) Corp., greift zu einer kleinen Plastikdose, öffnet sie, nimmt ein schwarz glänzendes Siliziumblatt heraus, fasst es zwischen Daumen und Zeigefinger und biegt es. Vom For-



Stellt sein Verfahren die Solarindustrie auf den Kopf? Francois J. Henley, Chef von Silicon Genesis, mit einer Siliziumplatte, aus der ultradünne Wafer produziert werden.

mat her ist es ein ganz normaler, monokristalliner Wafer mit 125 Millimeter Kantenlänge. Doch seine Dicke beträgt nur 50 Mikrometer – nur rund ein Viertel dessen, was bei der Herstellung von

Solarzellen bislang Stand der Technik ist. Die Oberfläche dieser Siliziumfolie ist, ohne dass sie poliert wurde, um ein Vielfaches glatter als die konventioneller Wafer. Ebenso sei die Zahl der Mikrobrü-



Unauffälliges Hauptquartier: Der Firmensitz von Silicon Genesis im US-amerikanischen San Jose

che kleiner, betont Henley. Das alles hat mit der Maschine zu tun, die den Wafer hergestellt hat und über die PHOTON vor einigen Monaten schon einmal berichtet hat (PHOTON 9-2008). Henley ist ihr Erfinder und entwickelt sie zusammen mit einigen Mitarbeitern zur Serienreife weiter.

### Prototyp auf dem Weg zur Serienreife

Die Maschine steht tief im Inneren des Gebäudekomplexes in einem fensterlosen Raum. Fotografieren ist hier verboten. Man sieht der etwa zehn Meter langen Apparatur das Prototypenstadium deutlich an: Aus ihrem Edelstahlgehäuse ragen Schläuche und Kabel, ein Schild warnt vor radioaktiver Gammastrahlung. Die wird erzeugt von einem Ionenbeschleuniger, der Protonen – also geladene Wasserstoffatome – in einer Vakuumkammer auf eine bis zu zehn Zentimeter dicke Platte aus Silizium feuert. Je nachdem, mit welcher Spannung die Protonen beschleunigt werden, dringen sie mehr oder weniger tief in das Silizium ein. In einer Tiefe von 50 bis 150 Mikrometern reichern sie sich darin zu einer dünnen Lage von Wasserstoffatomen an. Wird diese auf etwa 500 Grad Celsius erhitzt, dehnt sich der Wasserstoff so weit aus, dass er das Silizium auseinanderprengt.

Der Protonenstrahl wird von Elektromagneten abgelenkt und lässt sich gezielt auf jede Stelle des späteren Wafers richten – ähnlich wie der Elektronenstrahl in einer Bildröhre. Das Gleiche gilt für einen leistungsfähigen Laserstrahl, der das Silizium in einem weiteren Arbeitsschritt abtastet. Gemeinsam entfalten Ionenbeschleuniger und Laser eine ähnliche Wirkung wie eine Spaltaxt beim Zerteilen eines Holzklotzes: Sie greifen eine Ecke der Siliziumplatte mit besonders viel Energie – sprich Protonen und Hitze – an (siehe Grafik), und von die-

ser Ecke aus geht infolgedessen ein Riss durch das Silizium. Der Weg des Risses wird durch die Maschine vorgegeben, indem sie eine deutlich kleinere Protonendosis auf der übrigen Fläche der Siliziumplatte verteilt. »Das einzige, was wir machen, ist, den Riss zu steuern«, gibt sich Henley bescheiden. Das sei eine Sache von linear-elastischer Bruchmechanik. Diese besagt vereinfacht ausgedrückt, dass die an der Spitze eines Risses auftretenden Spannungen theoretisch unendlich groß sind. In der Praxis ist das nicht ganz so, denn sonst würde jedes Material mit einem Riss förmlich explodieren. Doch groß genug, um einen Spalt auf einem vorgegebenen Weg durch hartes Silizium zu treiben, ist die Kraft immer noch.

Die Maschine basiert auf einer Entwicklung der Russen Reutow und Ibragimow aus dem Jahr 1983, die sich die Wafer-Herstellung per Protonenstrahl in der Sowjetunion patentieren ließen. Ihr Verfahren wurde allerdings nicht weiterverfolgt, weil es zu aufwendig war. Auch die Ingenieure von Sunpower Corp., Hersteller der leistungsfähigsten normalen Siliziumsolarzellen, sahen das offenbar so: Sie testeten 1998 einen ähnlichen Prozess, berichtet Henley. Auch dieser hätte sich als zu kostspielig erwiesen. Das dürfte vor allem am Energieeinsatz gelegen haben. Die Russen etwa verbrauchten rund 50-mal mehr Strom als der Sigen-Prozess, berichtet der Elektrotechniker. Denn sie hätten den Siliziumblock auf seiner gesamten Fläche gleichmäßig mit Protonen behandelt. Doch auch die Sigen-Weiterentwicklung fällt nicht gerade in die Energieeffizienzklasse A++: Bei einer Wafer-Dicke von 150 Mikrometern verbraucht sie rund 0,6 Kilowattstunden Strom pro Watt späterer Solarleistung – das ist ein Vielfaches dessen, was die bislang zur Wafer-Herstellung verwendeten Sägen und Nebenanlagen konsumieren. Die Herstellung dünnerer Wafer dürfte allerdings weniger Energie verbrauchen, da die Protonen dazu weniger stark beschleunigt werden müssen. Außerdem spart die Protonenaxt graue Energie, weil nicht mehr die Hälfte des eingesetzten Siliziums als Sägeabfall endet.

Dass die Sigen-Wafer auch als Zellen funktionieren, haben sie bereits bewiesen: Auf 13,2 Prozent Wirkungsgrad kam



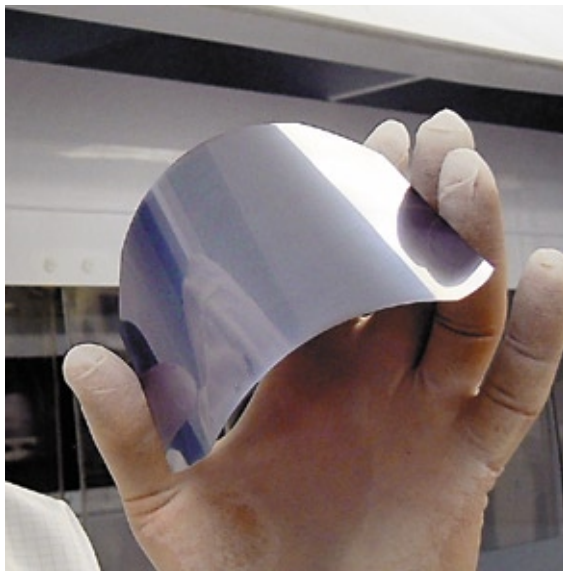
## baumann

FLEXIBLE AUTOMATIONSLÖSUNGEN  
FÜR DIE SOLAR- & GLASINDUSTRIE

- Handhabung
- Montage
- Prüftechnik



ein Solarzelle aus einem nur 40 Mikrometer dicken Wafer im Laborversuch. Ein 275 Mikrometer dicker Referenz-Wafer aus konventionellem Material, der den gleichen Zellprozess durchlaufen hatte, brachte es zwar auf 14,6 Prozent, berichtete Henley im vergangenen Herbst auf der Europäischen Photovoltaikkonferenz EU PVSEC. Doch wenn man die Zellprozesse für die Sigen-Wafer optimieren würde, könne man noch eine Menge erreichen. Das ist ein wichtiger Punkt. Denn es ist nicht so, dass bestehende Wafer-Sägen samt Nebenanlagen sich einfach gegen Sigen-Maschinen ersetzen ließen, wie Henley wirbt. Etwas mehr Aufwand ist schon nötig. So dringen die Protonen am besten in die Siliziumplatte ein, wenn deren Kristallgitter die Orientierung 1-1-1 aufweist. Die Hersteller von Zellproduktionsanlagen verlangen in ihren Spezifikationen jedoch üblicherweise Wafer, die aus einem Siliziumeinkristall mit der Orientierung 1-0-0 hergestellt wurden – daraus lässt



Auch Silizium lässt sich biegen – es muss nur dünn genug sein

die gleichen Eigenschaften mit 1-1-1-Kristallen zu erreichen, muss der Wafer daher anders geätzt werden. Das jedoch zieht Änderungen in der Zelllinie nach sich. Das Gleiche gilt für ultradünne Wafer, die in heutigen Linien leicht unter die Räder kommen könnten.

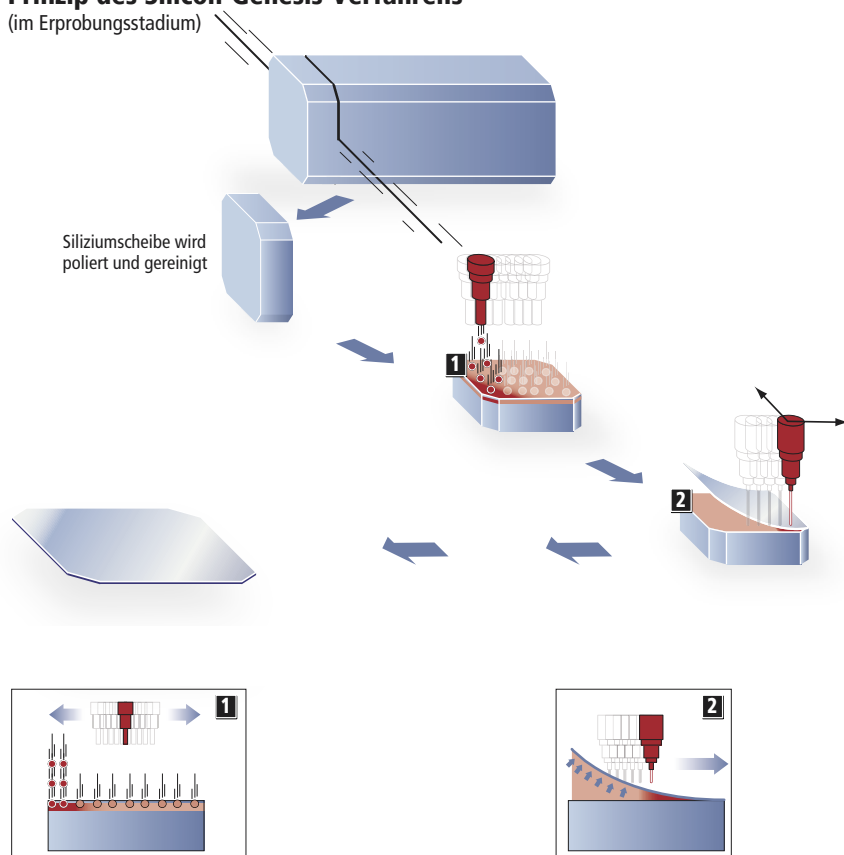
Eines der ersten Unternehmen, das die Maschine testen darf, ist die Norsun AS. »Was wir bisher gesehen haben, ist vielversprechend. Wir haben al-

sich eine gute Pyramidenstruktur in die Siliziumoberfläche ätzen. Die ist wichtig, damit die spätere Zelle möglichst viele Photonen einfangen kann, und entscheidet damit über den Wirkungsgrad. Um

len Grund zu glauben, dass es gut funktionieren wird«, sagt Jon Hindar, Geschäftsführer des norwegischen Wafer-Herstellers. Voraussichtlich in einigen Monaten werde man Zugang zu einem Prototypen der Anlage haben und diesen dann ausgiebig prüfen. Bis die Technologie jedoch reif für die Massenproduktion sei, werde es wohl noch einige Jahre dauern, glaubt Hindar. »Es ist schwierig, das heute genau zu sagen, auch weil Norsun als Wafer-Hersteller Kunden braucht, die bereit sind, ihre Zelllinien für ultradünne Wafer anzupassen.« Doch mittelfristig sei das Verfahren ausgesprochen interessant – eben, weil es ultradünne, äußerst glatte Wafer produziert und dabei deutlich weniger Silizium verbraucht als das Sägen. Und auch wenn Preise und Betriebskosten der Protonenaxt noch unklar sind: Vom Daggett Drive in San Jose aus könnte eine der nächsten Stufen im Wettkampf um günstigere Produktionskosten gezündet werden. Jon Hindar: »Es ist eine Technologie, die möglicherweise das Zeug hat, alles auf den Kopf zu stellen.«

Christoph Podewils

**Prinzip des Silicon-Genesis-Verfahrens**  
(im Erprobungsstadium)



Im Vakuum schießt ein Beschleuniger Protonen (Wasserstoffionen) auf die Siliziumplatte. Die Protonen dringen dabei bis zu 150 Mikrometer tief in das Silizium ein. Durch gezieltes Hin- und Herbewegen des Protonenstrahls werden in einer Ecke mehr Wasserstoffionen ins Silizium geschossen als auf der übrigen Fläche.

Durch gezieltes Erhitzen der Siliziumplatte dort, wo sie besonders viel Wasserstoff enthält, entsteht ein kleiner Spalt. Dieser wird durch Erhitzen der übrigen Regionen erweitert, sodass sich der Wafer von der Platte löst.

**Silicon Genesis auf der Photovoltaic Technology Show**



Francois Henley, Geschäftsführer von Silicon Genesis, hält auf der 4<sup>th</sup> PV Equipment Conference (Part 1 - c-Si) in München am 4. März den Vortrag »Kerf-less wafer production«