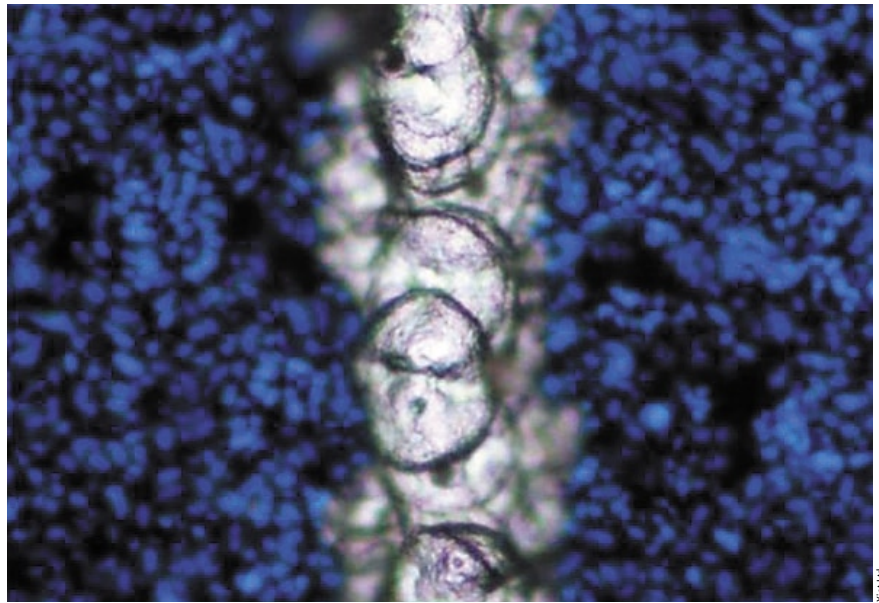


Silberstreif aus der Düse

Das israelische Start-up-Unternehmen Xjet kündigt einen Tintenstrahldrucker für Solarzellen an

Noch werden die Kontakte auf der Frontseite von Solarzellen mit einem vergleichsweise altertümlichen Verfahren erzeugt: Silberpaste wird mit einem Rakel durch eine Siebdruckmaske auf den Wafer gepresst. Doch die Feinheit der so gedruckten Kontakte begrenzt, außerdem werden die Siliziumscheiben leicht beschädigt. Schneller, feiner und vor allem berührungslos wäre eine Metallisierung per Tintenstrahldrucker. Doch auf solche Geräte hat die Branche bislang vergeblich gewartet. Wie gesagt: bislang.



Ein vom Xjet-Drucker erzeugter Frontseitenkontakt: Die Silberlinie ist etwa 50 Mikrometer breit und wurde aus tausenden übereinander gestapelten Tröpfchen zusammengesetzt.

Er ist ein Monster in Sachen Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit«, sagt Ofir Baharav nicht ohne eine gewisse Zärtlichkeit. Dabei ist der Geschäftsführer des israelischen Start-up-Unternehmens Xjet Ltd. alles andere als ein Mensch vom Schlage Hagrids, jenem monsterverliebten Wildhüter in den Harry-Potter-Romanen. Es ist schlicht so, dass Baharav seit fünf Jahren an der zehn Meter langen und 22 Tonnen schweren Maschine arbeitet, zusammen mit einem Team von internationalen Tintenstrahldruck-Experten. Und jetzt steht das Unternehmen nach eigenen Angaben kurz davor, den ersten Tintenstrahldrucker zur Frontseitenmetallisierung von Solarzellen in den Markt einzuführen. Das schafft eine gewisse emotionale Verbundenheit auch zu Monstern. Zudem verhindert der Vergleich, dass man die Druckmaschine auch nur in die Nähe jener klapprigen Plastikapparaturen rückt, die neben Millionen von Schreibtischen Tinte aufs Papier schießen. »Industrieller Tintenstrahldruck hat mit einem Tintenstrahldrucker zu Hause so viel zu tun wie ein echter Bagger mit einem Spielzeugbagger«, klärt Baharav auf.

So, wie ein Spielzeugbagger keine Erde bewegen kann, so verspritzt das Monster

auch keine Tinte im klassischen Sinne – vielmehr schießen seine 100.000 Düsen eine Lösung mit feinsten Silberpartikeln auf Silizium-Wafer. Sie ersetzt jene Silberpasten, die Siebdruckmaschinen bislang in eher robuster Manier durch eine Maske auf die Scheiben rakeln. Das Ziel ist jeweils das gleiche: ein feines Linienmuster, das von den späteren Zellen den Strom ableitet. An derartigen Verfahren arbeitet sich die Solarindustrie schon lange ab. Erfolg war ihnen bislang nicht beschieden, wohl auch, weil sich keiner der Weltmarktführer im Tintenstrahldruck – Hewlett-Packard, Epson, Canon – bisher daran versucht habe, wie Ofir Baharav sagt.

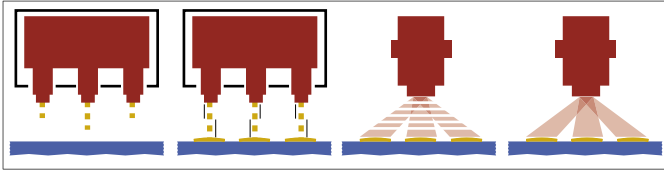
Und so scheint es, als gelänge Xjet mit der Entwicklung eine Premiere: In wenigen Monaten soll die erste Maschine ausgeliefert werden, Ende des nächsten Jahres dann die Massenproduktion starten, kündigte Baharav Ende vergangenen Jahres an. Ob Xjet tatsächlich so schnell die »Revolution ins Werk« bringt, lässt sich indes kaum vorhersagen. Denn das Start-up aus Rehovot gibt nur wenige handverlesene Informationen preis, ein Blick auf die Maschine blieb auch PHOTON verwehrt. Zu Optimismus gibt Anlass, dass der Xjet-Cheftechnologie von

Objet Geometries Ltd. stammt, einem der führenden Hersteller von 3-D-Tintenstrahldruckern – übrigens auch mit Sitz in Rehovot.

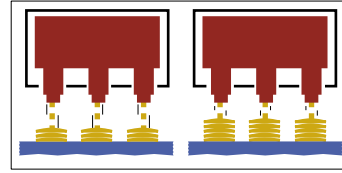
Drei Milliarden Silbertröpfchen pro Sekunde

Aus Berichten und Firmenpräsentationen lässt sich rekonstruieren, wie die Maschine prinzipiell funktionieren müsste: Von Förderbändern transportiert rauschen die Wafer unter etwa 20 Druckköpfen hindurch, die auf der gesamten Breite eines Wafers rund 5.000 Düsen haben. Jede kann pro Sekunde etwa 20.000 bis 30.000 Tröpfchen, sogenannte Droplets, auf die Wafer schießen. Maximal platziert die Maschine so circa drei Milliarden Tröpfchen pro Sekunde, auch wenn es im normalen Betrieb eher einige hundert Millionen sind. »Rechnen Sie mal aus, was dahinter für ein Datenvolumen steckt«, rät Baharav. Haben wir getan: bis zu 375 Megabyte pro Sekunde. Das liegt im Bereich der maximalen Datenrate eines PCI-Busses, wie er in jedem PC steckt – mit dem Unterschied, dass hier keine Elektronen, sondern milliardstel Liter Silbertinte bewegt werden. Genauso anspruchsvoll sind die Anfor-

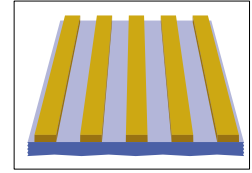
Industrieller Tintenstrahldruck in der Solarzellenproduktion (stark vereinfachtes Schema)



1. Die einzelnen Tintentröpfchen werden zunächst auf den Wafer geschossen. Eine Kamera überwacht dabei, ob der Auftrag fehlerfrei ist. Anschließend härtet die Tinte blitzschnell aus, vermutlich mithilfe von UV-Licht.



2. Die einzelnen Kontakte bestehen aus bis zu 90 Schichten, die übereinander gedruckt werden. Damit die Tinte nicht verläuft, müssen die einzelnen Schichten schnell aushärten.

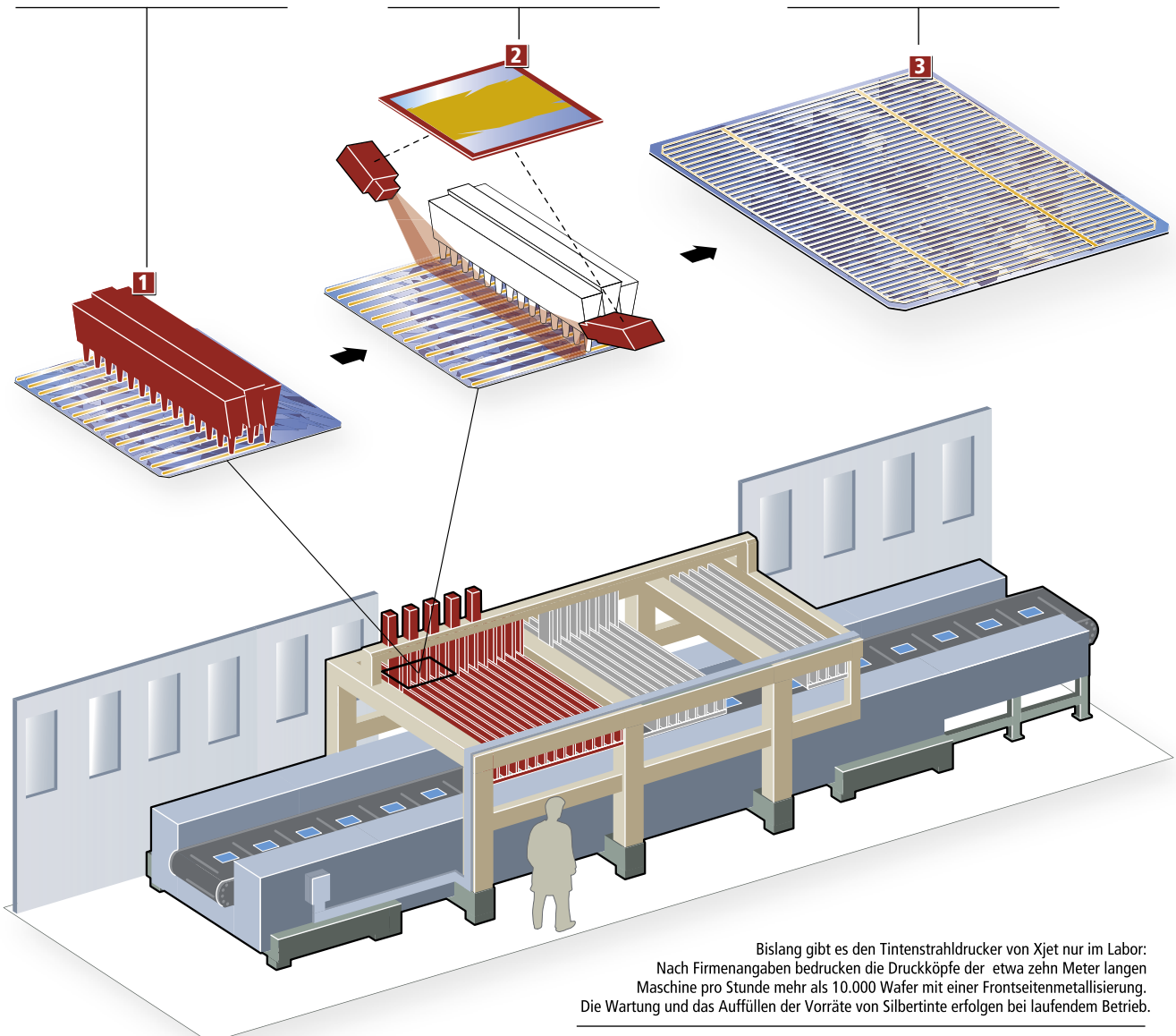


3. Das fertige Kontaktgitter. Der Drucker kann vom Prinzip beliebige Muster erzeugen, nicht nur die hier gezeigten parallelen Kontakte.

Die Druckköpfe der Maschine überstreichen die komplette Breite der Wafer. Etwa 100.000 Düsen können jeweils 20.000 bis 30.000 Tröpfchen pro Sekunde auf die Wafer schießen und erzeugen so das Muster der Frontseitenkontaktingerung.

Hochgeschwindigkeitskameras überwachen den Druckvorgang und zählen dabei buchstäblich jedes einzelne Tröpfchen. Druckabweichungen und verstopfte Düsen werden dabei erkannt und automatisch korrigiert beziehungsweise ersetzt.

Es dauert nur Sekundenbruchteile, um die Metallisierung zu erzeugen. Weil der ganze Vorgang berührungsfrei vonstättengeht, können dünnere Wafer als bislang verarbeitet werden. Außerdem sinkt das Risiko, die Wafer zu beschädigen.



Bislang gibt es den Tintenstrahldrucker von Xjet nur im Labor: Nach Firmenangaben bedrucken die Druckköpfe der etwa zehn Meter langen Maschine pro Stunde mehr als 10.000 Wafer mit einer Frontseitenmetallisierung. Die Wartung und das Auffüllen der Vorräte von Silbertinte erfolgen bei laufendem Betrieb.

Grafik: Udo Rehnke / PHOTON

derungen an die Genauigkeit der Maschine: Sie liegt im Bereich weniger tausendstel Millimeter (Mikrometer) und damit fast in Nanometer-Dimensionen. Jedes Droplet erzeugt einen Silberpunkt mit einem Durchmesser von weniger als 50 Mikrometern, viele sich überlappende Punkte formen dabei eine Linie.

Eine einzige Linie ist allerdings viel zu dünn und hätte einen viel zu hohen Widerstand, um den Strom von der Solarzelle abzuleiten. Deshalb stapelt der Drucker bis zu 90 Linien exakt aufeinander – in einem einzigen Arbeitsgang. »Das ist so, als ob man einen Wolkenkratzer mit 50 oder mehr Stockwerken aus flüssigem Beton gießt, ohne dass es ein Stahlskelett gibt, das alles hält«, vergleicht Baharav. Wieso die Tinte dabei nicht zerläuft, sei ein Geheimnis, sagt er. Nur so viel: Sie müsse schon erstarrt sein, bevor das nächste Droplet auftreffe. Wie das gemacht wird – es bleibt ein Geheimnis. Vermuten lässt sich, dass ähnlich wie beim »Rapid Prototyping« (schnelles Erstellen von Prototypen) mit 3-D-Druckern ein Polymer zum Einsatz kommt, das unter UV-Licht sofort erstarrt.

Auch wenn »das Monster« mit dem Bürodruker nicht viel zu tun hat: Manche Probleme gleichen sich. So sind hier wie dort einzelne Düsen immer wieder einmal verstopft. Der Schreibtischdrucker rattert sich in solchen Fällen durch eine minutenlange Reinigungsprozedur. Beim Xjet-Gerät, das im industriellen Betrieb 24 Stunden, 7 Tage die Woche durchlaufen soll, gibt es diese Zeit nicht. »Wir kompensieren den Ausfall einzelner Düsen«, sagt Baharav. Woher man bei bis zu drei Milliarden Droplets pro Sekunde überhaupt weiß, dass eine Düse den Dienst versagt, lässt sich hingegen lapidar beantworten: »Wir zählen jedes einzelne Droplet«, so Baharav, »und wissen ganz genau, ob wir 100.000 oder 100.001 verschossen haben.« Diese Aufgabe werde von Kameras übernommen. Tatsächlich sind inzwischen elektronische Hochgeschwindigkeitskameras verfügbar, die bis zu einer Million Aufnahmen pro Sekunde machen und damit auch Weg und Aufprall von 30.000 Tintentröpfchen in der Sekunde verfolgen können.

Schneller, schonender, kostengünstiger

Stellt sich die Frage: Was soll der ganze Aufwand überhaupt? Xjet wirbt damit, dass der Drucker ein ganzes Bündel von Vorteilen hat, durch deren Zusammen-

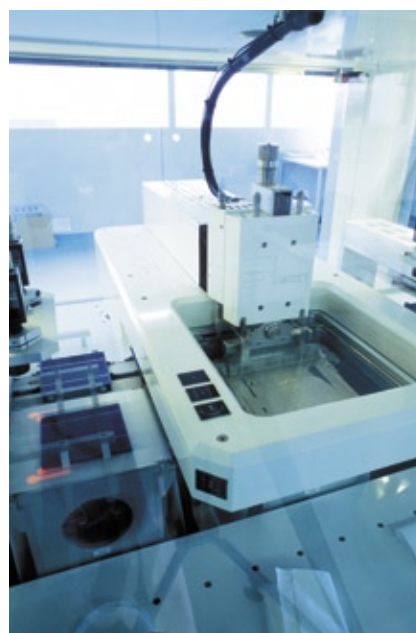
Xjet auf der Photovoltaic Technology Show



Ronald Frommann / photon-pictures.com

Ofir Baharav, Geschäftsführer von Xjet, hält auf der 4th PV Equipment Conference (Part 1 – c-Si) in München am 4. März den Vortrag »Inkjet-technology: A new high-speed metalization printer«

spiel sich die Produktionskosten von Solarzellen deutlich reduzieren. Da wäre zunächst eine hohe Druckgeschwindigkeit. Konventionelle Siebdruckmaschinen schaffen bislang maximal 2.400 Wafer pro Stunde. Für eine der kommenden Gigawattfabriken bräuchte man jeweils etwa 50 solcher Maschinen. Ein Xjet-Drucker sei hingegen in der Lage, mehr als 10.000 Wafer pro Stunde zu bedrucken, berichtet Baharav. Überdies würden die Wafer sehr schonend behandelt, weil die Metallisierung völlig berührungslos vonstattengehe. »Dadurch reduziert sich der Ausschuss deutlich«, wirbt der Düsenbauer. Weil weniger Zellen in den Produktionsanlagen zerbrechen, die dann in zeitraubender Handarbeit daraus entfernt werden müssen, sinken wiederum die Stillstandzeiten der anderen Maschinen. Und schließlich – das ist unbestritten – ermöglicht der Tintenstrahldruck die Verarbeitung künftiger ultradünner Wafer und



Wilhelm Beuer / photon-pictures.com

Noch wird das Kontaktgitter auf Solarzellen mittels klassischem Siebdruck aufgebracht. Xjet will dieses vergleichsweise altertümliche Verfahren jetzt ablösen.

den Druck von Linienstrukturen, die etwa viermal feiner sind als die derzeitigen. Sie verschatten deshalb die aktive Oberfläche der Zellen weniger. Das eine führt zu geringeren Materialkosten (sicherlich wenn dabei Wafering-Technologien wie die von Silicon Genesis Corp. zum Einsatz kommen, Seite 76); das andere erhöht potenziell den Wirkungsgrad.

Fehlende Antworten gibt es allerdings auch: So hält Peter Fath, der als Technologievorstand der Centrotherm Photovoltaics AG ein wenig Einblick in das Verfahren gewinnen konnte, das Versprechen höherer Wirkungsgrade durch dünnere Metallkontakte für fadenscheinig. Denn durch die geringe Auflagefläche erhöht sich der Übergangswiderstand, und der Zellwirkungsgrad sinkt. Darauf angesprochen, sagt Ofir Baharav, dass man das Problem kenne und auch lösen könne. Denn der Drucker ist in der Lage, gleichzeitig unterschiedliche Tinten auf einen Wafer zu spritzen. Deshalb könnten – so mutmaßen wir – zunächst solche, die eine gute Verbindung zwischen der Metallisierung und der Wafer-Oberfläche schaffen, aufgetragen werden und später andere, die für eine hohe Leitfähigkeit der Kontakte sorgen. »Dazu muss man allerdings völlig neue Kontaktkonzepte entwickeln«, sagt Fath. Und das wiederum brauche Zeit oder erfahrene Zellproduzenten als Partner, die – für einen Anlagenhersteller ein Nachteil – auf Exklusivität pochen würden.

Dem stimmt auch Xjet zu – nur mit der Unterstützung von Kunden lasse sich die Maschine zur Serienreife entwickeln. Das Unternehmen macht hier zwar keine Angaben, doch offenbar hat sich die Firma für enge Partnerschaften mit Zellproduzenten entschieden. Dafür sprechen sowohl der ambitionierte Zeitplan als auch der restriktive Umgang mit Informationen. Wer die Partner sein könnten, darüber lassen sich allenfalls Spekulationen anstellen: Es könnte sich um Unternehmen handeln, die von Good Energies Inc., Spirox Corp., Gemini Israel Funds und dem legendären Alf Bjørseth finanziert werden oder wurden, denn diese Investoren haben auch 40 Millionen US-Dollar (31,2 Millionen Euro) in Xjet investiert. Auf der Kandidatenliste stehen damit: Q-Cells SE, Solarfun Power Holding Co. Ltd. und REC ASA. Doch bis das Monster bei diesen oder anderen Firmen wirklich Solarzellen bedruckt, wird es noch etwas dauern, sagt Ofir Baharav. »Wir müssen es jetzt zähmen und trainieren.«

Christoph Podewils