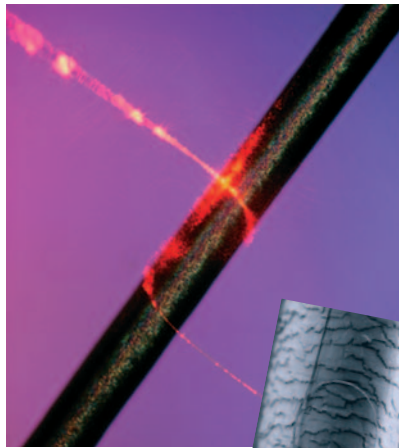


## Lichtleiter im Nanomaßstab

Unmengen an Daten sausen jede Sekunde durch das globale Glasfasernetz. Nicht nur in Netzwerken, auch in optischen Rechen- und Sensorchips der Zukunft könnte dieser hoch effiziente Transport von Informationen über Lichtwellen seine Vorteile ausspielen. Doch bevor die Rechenleistung mit optischen



Mit Hilfe eines neuen Herstellungsverfahrens lassen sich extrem dünne und biegsame Lichtleiter herstellen. Auf dem kleinen Bild ist eine zu einer Schleife gewickelte Faser auf einem Haar zu sehen. (Quelle: L. Tong/Harvard University)

Schaltkreisen erhöht werden kann, braucht man extrem dünne und zugleich hochreine, homogene Lichtleiter. Dieses Ziel haben nun amerikanische und chinesische Forscher mit einem Herstellungsverfahren für bis zu 50 Nanometer dünne Lichtleiter aus Siliziumdioxid erreicht.<sup>1)</sup>

Kommen industriell gefertigte Glasfasern mit Durchmesser von einigen Tausendstel Millimetern noch reichlich dick daher, schrumpfen die neuen Lichtleiter auf einen Bruchteil dieser Maße zusammen. Damit sind sie klein genug, um auf einem Chip angeordnet zu werden.

Das Herzstück der Nanofaser-Produktion bildet eine hauchdünne Spitze (80  $\mu\text{m}$ ) aus Saphir. Aufgeheizt in einer Flamme ragt sie aus dieser rund einen halben Millimeter heraus und gibt dort ihre Wärme an eine in mehreren Windungen aufgewickelte, mikrometerdicke Rohfaser aus Siliziumdioxid ab. Auf diese Weise lässt sich die Temperatur (2000 K) dieser kleinen Faserspule gerade so einstellen, dass die Fasern nicht komplett ineinander verschmelzen. Dennoch ist der Strang weich genug, um gleichmäßig in einen bis zu tausendmal dünneren Lichtleiter gezogen zu werden. Da die Zugkraft seitlich an die Faser in einem rechten Winkel zur Saphirspitze angreift, wird die aufgeweichte Rohfaser langsam abgerollt und lässt sich durch den wirkenden Zugwiderstand genau bis auf den gewünschten Durchmesser verjüngen. Eric Mazur von der Harvard University und seine Kollegen von der Zhejiang University in Hangzhou

variieren dazu die Zugeschwindigkeiten zwischen einem und zehn Millimetern pro Sekunde, wodurch sie gleichmäßige Faserdurchmesser zwischen 50 und 1100 Nanometer erzielen.

Im Unterschied zu anderen Heizmethoden – beispielsweise mit Lasern – entstanden dabei keine Strukturschwankungen im Material, die bisher zu einer rauen Oberfläche und einem ungleichmäßigen Aufbau der Faser führten. Der Durchmesser dieser extrem feinen Faser variiert nur um wenige Atomlagen. Lichtsignale mit 633 und 1550 Nanometer Wellenlänge breiten sich daher mit einem geringen Leistungsverlust (1 dB/mm) durch den Lichtleiter aus. Zudem erwies sich die Siliziumdioxid-Faser als so flexibel und gleichzeitig stabil, dass sie sich zu filigranen Schleifen mit nur einem Millionstel Meter Durchmesser biegen lässt. Weitere Verluste durch diese starke Krümmung hielten sich wegen des großen Unterschieds der Brechungszahlen von Luft und Siliziumdioxid in Grenzen.

## Schrumpfende Speicher

Ohne Stromzufuhr merken sich nichtflüchtige Flash-Speicher hunderte von Bildern oder Straßenkarten von ganzen Ländern. Kathryn Guarini, Wissenschaftlerin am IBM Watson Forschungszentrum in Yorktown Heights, will die Abmessungen dieser handlichen Massenspeicher weiter schrumpfen lassen. Während heute die kleinste Zelle eines Flash-Speichers rund 120 Nanometer misst, erreichten Guarini und ihre Kollegen in ihrem Prototyp mit Nanokristallen aus Silizium bereits 20 Nanometer.<sup>2)</sup> Damit ließen sich beispielsweise Karten im CompactFlash-Format mit weit über zehn Gigabytes Daten beschreiben.

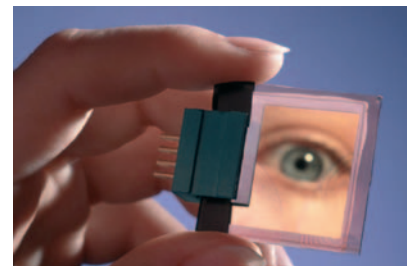
Da mit der konventionellen Photolithografie die Größe der Schaltkreise durch die Wellenlänge des Lichts begrenzt wird, nutzten die IBM-Forscher die selbstordnenden Eigenschaften von Polymer-Ketten. Mit einer Mischung aus Polystyrol und Polymethylmethacrylat gelang es ihnen, eine Matrix für eine extrem feine Strukturierung einer Siliziumoxid-Oberfläche herzustellen. Sie nutzen dabei aus, dass sich die Kunststoffmoleküle unter bestimmten chemischen Randbedingungen von alleine zu der Nanometer genauen Vorlage anordnen. Über

einen Ätzprozess – analog zur klassischen Chip-Herstellung – konnten die Wissenschaftler darauf in Halbleiter-Rohlinge Strukturen aus winzigen Silizium-Kristallen von nur 20 Nanometer Größe bannen.

Gerade durch die Kombination der zukunftsweisenden Selbstorganisation von Polymer-Molekülen mit den Standard-Produktionsprozessen der Halbleiterindustrie scheint eine schnelle Umsetzung für die Massenfertigung möglich. Flash-Speicher auf der Basis von Nanokristallen könnten sogar die bisher unzureichende Langzeitstabilität dieser nichtflüchtigen Datenträger verbessern helfen. Denn Lücken in der elektrischen Isolierung müssen durch die kleinen Dimensionen der einzelnen Speicherzellen nicht mehr zum kompletten Abfluss der auf dem so genannten Floating-Gate der Flash-Zelle gespeicherten Ladung führen.

## Höherer Wirkungsgrad für gedruckte Solarzellen

Flach, flexibel, günstig, effizient: Diese Ziele verfolgen Materialforscher bei der Entwicklung neuer Solarzellen. Während der Haupttrend derzeit zu Dünnschichtzellen auf Silizium-Basis geht, berichten Wissenschaftler des Elektronikkonzerns Siemens nun von einem Durchbruch bei organischen Photovoltaik-Modulen. Diese lassen sich prinzipiell in großen Mengen auf eine biegsame, transparente Trägerschicht aufdrucken. Mit einem 15 mal 15 Zentimeter großen Prototyp gelang



Organische Solarzellen (hier ein Prototyp) lassen sich nun auf eine transparente Trägerschicht aufdrucken. (Foto: Siemens)

es ihnen, den Wirkungsgrad der auf halbleitende Polymere aufbauenden Sonnenlichtwandler von drei auf fünf Prozent nahezu zu verdoppeln.

Als Herzstück der organischen Solarzellen nutzen die Siemensforscher um Entwicklungsleiter Christoph Brabec die lichtempfindlichen Polymere Polyphenylenvinyl

1) Limin Tong et al., Nature, 426, 816 (2003)

2) www.research.ibm.com/resources/news/20031208\_selfassembly.shtml/

3) Siemens AG, Forschung: <http://w4.siemens.de/Fu1/de/index.html>

4) Framatome: [www.framatome.com/](http://www.framatome.com/); Cedip Infrared Systems: <http://www.cedip-infrared.com/new26.htm>

(PPV), Polyfluorene und Polythiophane; Materialien, die sonst auch bei der Herstellung von organischen Leuchtdioden (OLED) verwendet werden. Die Polymere werden in organischen Lösungsmitteln auf rund das Tausendfache verdünnt und mit geringen Mengen des Fulleren  $C_{60}$  angereichert. Über die genaue Rezeptur, die eine bessere Absorption des Sonnenlichts und damit den höheren Wirkungsgrad ermöglicht, hüllt sich Brabec jedoch in Schweigen.

Bei Raumtemperatur wird diese Flüssigkeit auf eine transparente, flexible und leitfähige Trägerschicht gegossen. Verdunstet das überschüssige Lösungsmittel, bleibt eine rund 100 Nanometer dünne lichtempfindliche Polymerschicht zurück. Eine weitere ebenfalls 100 Nanometer dünne Metalllage aus Aluminium oder Silber erlaubt den Abfluss der durch Sonneneinstrahlung im Polymer freigesetzten Elektronen. Diese Gießbeschichtung lässt sich laut Brabec ohne große Umstände an ein Rollendruck-Verfahren anpassen. Leitfähige und transparente Trägerfolien, die über rotierende Trommeln laufen, sollen dabei mit einer Geschwindigkeit von bis zu einem Meter pro Sekunde beschichtet werden.

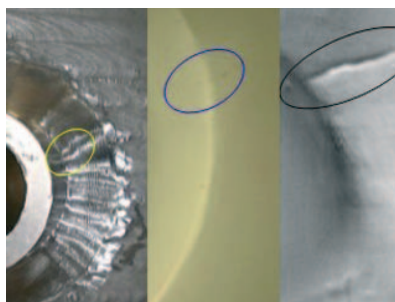
Auch wenn Brabec in den nächsten drei Jahren mit Wirkungsgraden von bis zu zehn Prozent rechnet, sollen diese Solarfolien nicht mit klassischen Photovoltaik-Modulen konkurrieren, die derzeit 16 Prozent der Energie des Sonnenlichts in Strom wandeln. Mit Lebensdauern von bis zu 10000 Sonnenstunden – entsprechend einem zehnjährigen Betrieb – schweben den Siemens-Forschern durchsichtige Solarfenster sowie biegsame Solarmodule für Geräte ohne Zugang zum Stromnetz vor.<sup>3)</sup>

## Infrarotkamera spürt Risse auf

Penibel achten Kernkraftwerksbauer auf den perfekten Zustand der Reaktorkammern. Lassen sich bei der Produktion mit Röntgendetektoren selbst kleinste Materialfehler aufspüren, gestaltet sich die regelmäßige Hüllenkontrolle der Druckkessel nach Einbau und Inbetriebnahme schwieriger. Eine Infrarotkamera, entwickelt vom Kraftwerksbauer Framatome und der französischen Firma Cedip Infrared

Systems, entdeckt nun berührungslos unsichtbare Materialermüdung von einigen Mikrometern Größe auf der Oberfläche.

Grundlage dieser photothermischen Methode ist die vom Materialzustand abhängige Wärmeausbreitung im Testobjekt. In ersten Versuche heizten die Entwickler die Oberfläche metallischer Proben mit dem Lichtstrahl eines Nd:YAG- oder Kohlendioxid-Lasers auf. Mit einem bis zu 20 Zentimeter weiten Spot rastert dieser Laser die Oberfläche ab und erwärmt sie um etwa fünf Grad. Parallel registriert eine Infrarotkamera die Ausbreitung der zugeführten Wärme. Weicht diese – auf einem Monitor visualisierte – thermische Diffusion von einem



Was mit bloßem Auge und bei einer Überprüfung mit Hilfe von Fluoreszenzfarbstoff kaum zu entdecken ist, entpuppt sich mit einem Infrarot-Verfahren als 12 Millimeter langer Riss. (Quelle: Framatome)

gleichmäßigen Verlauf ab, liegt die Ursache meist in einer strukturellen, für das bloße Auge unsichtbaren Materialstörung. Feine Risse im Mikrometermaßstab oder Strukturfehler durch Materialermüdung wirken als Barrieren gegen eine homogene Wärmeausbreitung, da hier die Atome in der metallischen Kristallstruktur die thermischen Schwingungen nicht mehr ungehindert weitergeben können.

Framatome möchte mit dieser Infrarotkamera die weit verbreitete Überprüfungsmethode mit Fluoreszenz-Farbstoffen ersetzen. In einem Lösungsmittel verteilt, dringen diese Farbstoffmoleküle bisher in kleinste Risse ein und zeigen darauf bei einer optischen Anregung über ein fluoreszierendes Leuchten Materialfehler an. Auf solche Hilfsmittel verzichtet die Infrarot-Methode, die zumindest die gleiche Genauigkeit erbringen soll. So könnten vor allem schwer zugängliche Anlagenteile in mitunter radioaktiv kontaminierten Bereichen leichter und automatisiert auf Materialschwächen kontrolliert werden.<sup>4)</sup>

JAN OLIVER LÖFKEN